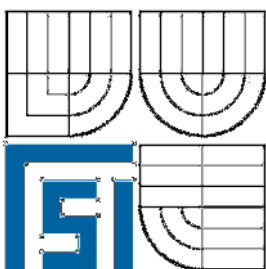


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PARNÍ TURBÍNA

STEAM TURBINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. TOMÁŠ MORÁVEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER, DR.

BRNO 2010

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá obecnými zásadami pro projektování a přípravnou projektovou prací pro zpracování nabídky malé průmyslové nebo teplárenské protitlakové nebo kondenzační parní turbíny, strojovny pro dodávané turbosoustrojí popřípadě i dalších funkčních celků vázaných na turbosoustrojí, jako je například chladicí okruh, systém kondenzace a vyvedení elektrického proudu z generátoru. V této práci není zahrnuta úprava kondenzátu a samotná výroba páry pro novou turbínu včetně přípravy kondenzátu, ani řídicí systém měření a regulace.

Annotation

This Master's thesis deals with the general principles of design and preliminary project work on the tender processing of small industrial, heating backpressure or condensing steam turbine, engine hall for the supplied turboset, perhaps even the other functional units attached to the turboset, such as cooling circuit, condensing system and output of the cable harnesses from the generator. This thesis does not include a condensate preparation, steam production for a new turbine or a measurement and regulation control system.

Klíčová slova:

Energie, nabídka, návrh, pára, projekt, strojovna, turbína.

Key words:

Energy, tender, design, steam, project, engine hall, turbine.

Čestné prohlášení

Prohlašuji tímto, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí a zkušeností, odborných konzultací, internetu, firemní literatury Ekol s.r.o. a doporučené literatury.

V Brně dne
.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat firmě Ekol s.r.o. za poskytnuté podklady pro zpracování této diplomové práce a nabytí zkušeností v projektování malých parních turbín, především panu Oldřichu Zedníčkovi, za jeho cenné zkušenosti v oboru projektování a dále bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Fiedlerovi za odborné konzultace a rady.

OBSAH

ABSTRAKT	3
KLÍČOVÁ SLOVA:	3
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD	9
1. DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ PARNÍCH TURBÍN	10
1.1. PARNÍ TURBÍNY PROTITLAKOVÉ, TYPOVÉ OZNAČENÍ „R“ A „PR“	10
1.1.1. Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m.....	10
1.1.2. Turbosoustrojí na turbínovém stole $+4,500 \div +6,000$ m.....	10
1.1.3. Turbosoustrojí na původní základy.....	10
1.2. PARNÍ TURBÍNY KONDENZAČNÍ, TYPOVÉ OZNAČENÍ „K, P, PT, PP“	10
1.2.1. Vzduchová kondenzace	10
1.2.2. Povrchová kondenzace (topný výměník).....	10
1.2.3. Turbosoustrojí na původní základ	10
1.1. PARNÍ TURBÍNY PROTITLAKOVÉ, TYPOVÉ OZNAČENÍ „R“ A „PR“	11
1.1.1. Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m.....	11
1.1.2. Turbosoustrojí na turbínovém stole-podlaží $+4,500$ m \div $+6,000$ m.....	12
1.1.3. Turbosoustrojí na původní základy.....	13
1.2. PARNÍ TURBÍNY KONDENZAČNÍ, TYPOVÉ OZNAČENÍ „K, P, PT, PP“	15
1.2.1. Vzduchová kondenzace	15
1.2.2. Povrchová kondenzace (topný výměník).....	16
1.2.3. Turbosoustrojí na původních základech.....	19
2. SYSTÉM ZNAČENÍ ENERGETICKÝCH CELKŮ	21
2.1. SYSTÉM ZNAČENÍ KKS	21
2.2. PRAVIDLA ZNAČENÍ V KKS.....	21
2.2.1. Účel značení	21
2.2.2. Obecné pojmy	21
2.3. POPIS	22
2.3.1. Číslování systému - datové místo F_N	22
2.3.2. Číslování na úrovni agregátů – datová místa.....	23
3. PARNÍ A KONDENZAČNÍ SYSTÉM.....	26
3.1. VOLBA MATERIÁLU POTRUBÍ DLE PRACOVNÍCH PARAMETRŮ.....	26
3.2. SPRÁVNÁ DIMENZE POTRUBÍ	26
3.2.1. Vstupní parovod.....	27
3.2.2. Zapojení potrubí pod turbínou.....	27
3.2.3. Zahlcení a odsávání ucpávek.....	27
3.2.4. Vakuový systém.....	28
3.2.5. Odvodnění turbíny a parovodů.....	28
3.2.6. Odvaděč kondenzátu.....	28
3.3. ODVADEČE KONDENZÁTU	29
3.3.1. Odvaděč kondenzátu plovákový.....	29
3.3.2. Odvaděč kondenzátu termodynamický.....	29
3.3.3. Odvaděč kondenzátu zvonový.....	30
3.3.4. Odvaděč kondenzátu termostatický (bimetalický)	30
3.4. KONDENZAČNÍ SYSTÉM.....	31
3.5. ZAPOJENÍ NÍZKOTLAKÉHO OHŘÍVÁKU (NTO).....	31
3.6. ZPĚTNÁ ODBĚROVÁ KAPKA.....	31
4. OLEJOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ.....	32
4.1. NÁVRH OLEJOVÉHO SYSTÉMU	32
4.1.1. Parametry mazacího oleje	32
4.2. ČERPADLA OLEJE	33

4.2.1.	Hlavní olejové čerpadlo (HOČ).....	33
4.2.2.	Najížděcí olejové čerpadlo	34
4.2.3.	Nouzové olejové čerpadlo.....	34
4.2.4.	Sací koš čerpadel.....	34
4.2.5.	Olejová nádrž	35
4.2.6.	Regulátor tlaku a pojistný ventil.....	35
4.2.7.	Chladiče oleje (tepelné výměníky)	36
4.2.8.	Kompenzátory potrubí.....	38
4.2.9.	Filtr mazacího oleje.....	39
4.2.10.	Odlučovač olejové mlhy.....	39
4.2.11.	Topné těleso	40
4.2.12.	Další pomocná zařízení	40
5.	ZPRACOVÁNÍ POPTÁVKY PARNÍ TURBÍNY	41
5.1.	POPTÁVKA PARNÍ TURBÍNY	41
5.2.	ZÁKLADNÍ INFORMACE OD KUPUJÍCÍHO	41
5.2.1.	Charakteristika turbíny a jejího příslušenství.....	41
5.2.2.	Parametry páry a vody	41
5.2.3.	Podmínky pro kondenzátory a chladiče.....	41
5.2.4.	Použití – instalace a způsob provozu.....	41
5.2.5.	Základy	42
5.2.6.	Koncové body – připojovací místa.....	42
5.2.7.	Podmínky dodání na staveniště	42
5.2.8.	Zkoušky.....	42
5.3.	INFORMACE O PROJEKTU PŘEDÁVANÉ DODAVATELEM	43
5.3.1.	Turbínové zařízení s regeneračním ohřevem napájecí vody.....	43
5.4.	NABÍDKA PARNÍ TURBÍNY	44
5.5.	PŘEDMĚT NABÍDKY- TECHNICKÁ SPECIFIKACE.....	44
5.5.1.	Turbína T5,6 – 3,8/0,3.....	44
5.5.2.	Rychlozávěrný ventil.....	44
5.5.3.	VT regulační ventily.....	44
5.5.4.	NT regulační clona.....	45
5.5.5.	Parametry turbíny.....	45
5.5.6.	Generátor	46
5.5.7.	Převodovka.....	47
5.5.8.	Olejové hospodářství.....	47
5.5.9.	Vysokotlaký regulační olej.....	47
5.5.10.	Mazací olej.....	48
5.6.	NÁVRH MAZACÍHO SYSTÉMU	49
5.7.	TYPIZACE ZAŘÍZENÍ PRO MAZACÍ SYSTÉM.....	49
5.7.1.	Hlavní olejová čerpadla (HOČ)	49
5.7.2.	Nouzové olejové čerpadlo.....	50
5.7.3.	Chladiče oleje.....	50
5.7.4.	Regulátor tlaku	51
5.7.5.	Pojišťovací ventil.....	51
5.7.6.	Filtr oleje	51
5.7.7.	Další pomocná zařízení	52
5.7.8.	Potrubí a armatury.....	52
5.8.	SCHÉMA MAZACÍHO OLEJE – POPIS	52
5.9.	NÁVRH TEPELNÉHO SCHÉMATU	54
5.9.1.	Vstupní parovod (LBA10_BR010).....	54
5.9.2.	Zahlcení ucpávek (LBW10_BR010).....	54
5.9.3.	Odsávání ucpávek (MAM10_BR010)	54
5.9.4.	Regulovaný odběr (LBD10_BR010).....	54
5.9.5.	Neregulovaný odběr (LBS10_BR010) pro regenerační nízkotlaký ohřívák (NTO).....	54
5.9.6.	By-pass turbíny (LBH10_BR010).....	55
5.9.7.	Paroproudé vývěvy a najížděcí ejektor (MAJ10_BR010).....	55
5.9.8.	Kondenzátní systém turbíny.....	55
5.9.9.	Okruh chladicí vody.....	56
5.10.	DOVOLENÉ SÍLY A MOMENTY NA JEDNOTLIVÝCH HRDLECH TURBÍNY	57

5.10.1.	<i>Přírubové spoje</i>	57
5.10.2.	<i>Přírubové spojení pro svařované výstupní hrdlo</i>	57
5.10.3.	<i>Podmínky stability</i>	58
5.10.4.	<i>Omezení působících sil</i>	58
ZÁVĚR		60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ		61
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ		63
PŘÍLOHY		64

ÚVOD

V této diplomové práci bude názorně ukázáno, jak by se mělo postupovat při navrhování budovy strojovny, základu pro turbosoustrojí, dispoziční rozmístění potrubí pro páru i kondenzát a dalších pomocných zařízení. Tento návrh postupu projektování je platný pro malé průmyslové nebo teplárenské protitlakové a kondenzační parní turbíny o elektrickém výkonu 1 MW_e až 50 MW_e .

Dále je zmíněn pouze technický přístup k projektování energetického celku a není zde zmíněn manažerský (obchodní) postup jednání objednatele s dodavatelem a subdodavateli. Ve skutečnosti je zapotřebí důkladně projednávat se zákazníkem (objednavatelem) postup projektových prací, aby se zabránilo následným nedostatkům v konečném projektu a bylo možné splnit bezchybný a bezpečný provoz turbosoustrojí po celou dobu životnosti, včetně možnosti manipulace při případných revizích a opravách.

V následujících kapitolách bude vysvětlena základní funkce prvků v parním a kondenzačním systému turbíny a mazací olejový systém pro celé turbosoustrojí a dalších podpůrných systémů.

V poslední kapitole bude uveden postup projektových prací pro zpracování nabídky parní turbíny a bude zpracována výkresová dokumentace, která obsahuje dispoziční řešení strojovny pro nové turbosoustrojí s příslušenstvím, tvorba tepelného schématu, schéma mazacího oleje pro turbosoustrojí a návrhové schéma pro chladicí okruh.

1. DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ PARNÍCH TURBÍN

Jednou z prvních činností po kontaktu mezi objednavatelem turbosoustrojí a dodavatelem tohoto zařízení je návrh dispozičního řešení dodávaného zařízení do prostoru, který je pro požadovanou dodávku k dispozici.

V prvním návrhu dispozičního uspořádání je nutné vycházet z podmínek které jsou specifické pro zadané parametry a pro prostory do kterých má být turbosoustrojí umístěno. Při prvním návrhu je nutné vycházet podle zásad tvorby dispozičního řešení.

Základní rozdělení návrhů pro uspořádání strojovny je následující:

1.1. *Parní turbíny protitlakové, typové označení „R“ a „PR“*

1.1.1. Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m

1.1.2. Turbosoustrojí na turbínovém stole $+4,500 \div +6,000$ m

1.1.3. Turbosoustrojí na původní základy

1.2. *Parní turbíny kondenzační, typové označení „K, P, PT, PP“*

1.2.1. Vzduchová kondenzace

a) Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m

b) Turbosoustrojí na turbínovém stole $+5,000 \div +8,000$ m

1.2.2. Povrchová kondenzace (topný výměník)

a) Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m

b) Turbosoustrojí na turbínovém stole $+5,000 \div +8,000$ m

1.2.3. Turbosoustrojí na původní základ

a) Úprava stávajícího základu

b) Náhrada stávajícího základu

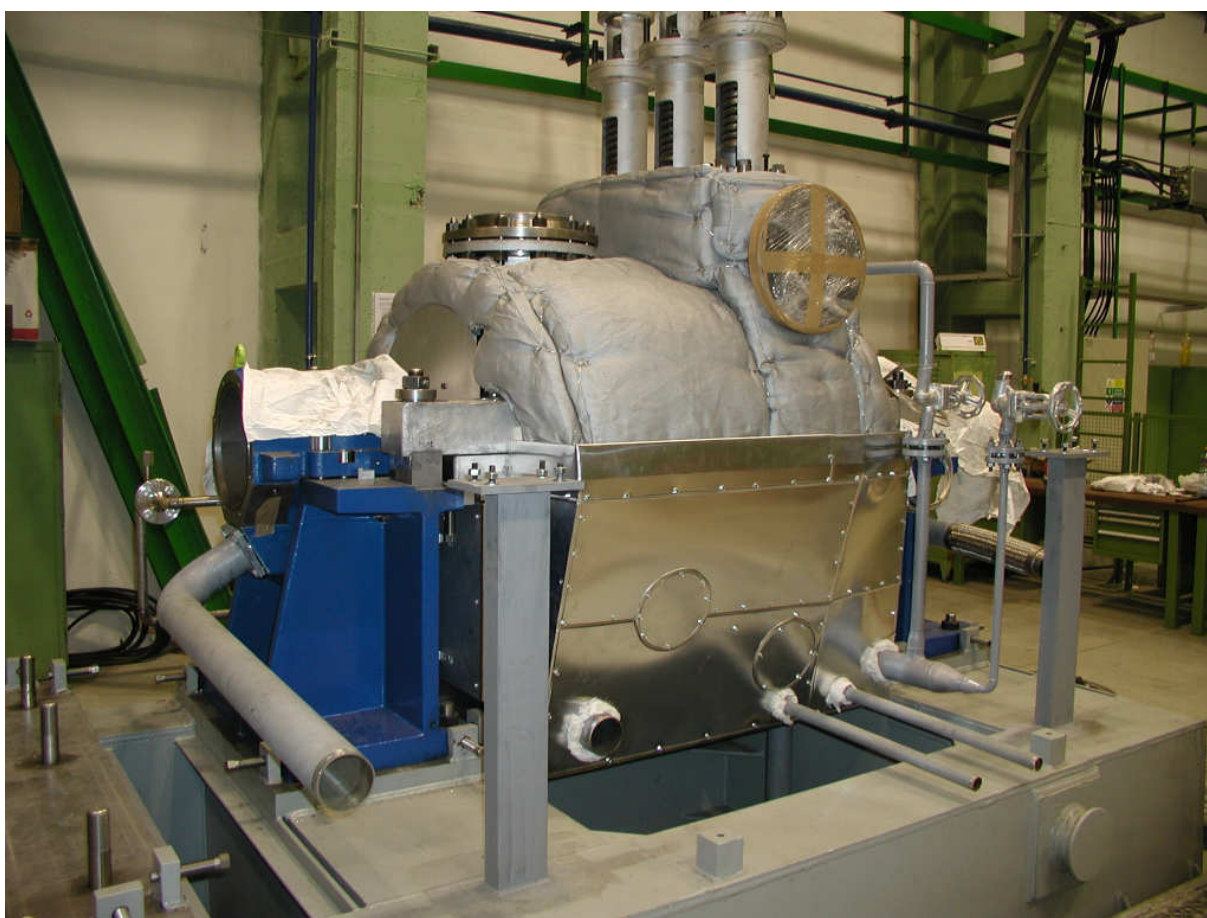
1.1. Parní turbíny protitlakové, typové označení „R“ a „PR“

1.1.1. Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m

V posledním období je díky novým technologiím a dokonalejších převodovek možno používat vysokootáčkové turbíny s otáčkami až 12000min^{-1} , čímž se turbína rozměrově podstatně zmenšila. Toto řešení tak umožňuje instalaci turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000\text{m}$, popřípadě na zvýšeném podlaží, které se blíží tomuto uspořádání.

Takovéto řešení dovoluje snížit celkovou výšku strojovny a tím ušetřit velké investiční náklady, naopak nevýhodou tohoto řešení je, že potrubí vstupní a výstupní páry je nutné vést vrchem a některá další zařízení je nutné umístit pod podlaží $\pm 0,000\text{m}$ jako je: odvodnění, sběrná nádrž kondenzátu a kondenzátní čerpadla.

První návrh pro nabídkové řízení a jednání s hlavním projektantem, je nutné tento návrh zohlednit, aby bylo možné najít optimální řešení tohoto dispozičního uspořádání a rozhodnout o jeho konečné podobě.



Obrázek 1 - Dispozice turbíny Anwil 1,55MW [Ekol s.r.o.]

Turbosoustrojí je umístěno do stávající strojovny a pomocná zařízení jsou umístěna do sklepního prostoru pro stávající turbosoustrojí větších výkonů. Pro nové turbosoustrojí je také využito stávající jeřáb a další pomocná zařízení, umístěná v prostoru strojovny.

1.1.2. Turbosoustrojí na turbínovém stole-podlaží +4,500 m ÷ +6,000 m

Klasické dispoziční uspořádání protitlakových turbín je umístění turbosoustrojí na turbínovém stole na podlaží +4,500 m ÷ +6,000 m. Toto řešení umožňuje rozmístění turbosoustrojí a některých pomocných zařízení na zvýšeném podlaží. Prostory na tomto podlaží jsou rovnoměrně zaplněny a při revizích je dostatečný prostor pro odkládací plochy jednotlivých částí turbosoustrojí. Pod tímto podlažím, jsou pak vedeny všechny potrubní větve, jako jsou vstupní potrubí, výstupní potrubí, potrubí ucpávkové páry, odvodnění turbíny popřípadě odběrová potrubí. Podstatnou výhodou tohoto uspořádání je snadné dodržení spádu jednotlivých potrubí a hlavně jejich odvodnění. Nevýhodou je výška budovy a s tím spojené velké investiční náklady na stavbu.



Obrázek 2 - Umístění turbosoustrojí 2 x R 8MW ve strojovně, Nobaria Egypt [Ekol s.r.o.]

Na obrázku 2 je návrh strojovny pro cukrovar v Egyptě. V strojovně jsou umístěny dvě protitlakové turbíny s prostorem vyhrazeným pro třetí turbosoustrojí a podlaží ±0,000 m jsou umístěny záložní naftové agregáty. Parní rozdělovače jsou umístěny mimo prostor strojovny.

1.1.3. Turbosoustrojí na původní základy

Vzhledem k tomu, že značná část turbosoustrojí, která byla instalována před 30 až 50 lety (i více) lety, je nutná jejich náhrada za nové turbosoustrojí. Za uplynulou dobu provozu jsou vznikly nové podmínky a potřeby pro současný provoz (jiný poměr spotřebované páry a elektrické energie), proto bývá z těchto důvodů nové turbosoustrojí jiné než původní. Pro úsporu na stavebních činnostech, je snaha využít stávající základy pro nové turbosoustrojí jen s minimální úpravou. Původní základy musí taktéž vyhovět jinému způsobu statického zatížení a dynamickým účinkům na základ od rotujících částí turbosoustrojí.

Na obrázku 3 je návrh dispozičního uspořádání nového turbosoustrojí R 41MW do prostoru po havarované turbíně R 16MW. Zvýšení výkonu nové turbíny bylo docíleno změnou parametrů vstupní páry a vylepšením lopatkováním turbíny. U tohoto případu byl původní základ vykopán až na podlaží $\pm 0,000$ m a nahrazen základem novým. Po této rekonstrukci je turbína v provozu již 4 roky.



Obrázek 3 - Montáž turbosoustrojí v Bangkoku [Ekol s.r.o.]



Obrázek 4 - Bangkok, pohled na turbínu R 41MW [Ekol s.r.o.]



Obrázek 5 - Bangkok, pohled na generátor [Ekol s.r.o.]

1.2. Parní turbíny kondenzační, typové označení „K, P, PT, PP“

1.2.1. Vzduchová kondenzace

V místech kde není dostatek chladicí vody pro povrchovou kondenzaci se používá kondenzace vzduchová. Tento druh kondenzace umožnilo použití frekvenčních měničů pro pohon vzduchových ventilátorů, jimiž se reguluje průtok chladicího vzduchu skrze žebra chladících trubek a určují tak vakuum v systému turbíny. Nevýhodou tohoto způsobu kondenzace jsou zvýšené nároky na prostor ve strojovně a vedle strojovny a menší absolutní hodnota dosaženého vakua.



Obrázek 6 - Vzduchová kondenzace, TTA Tábor [Ekol s.r.o.]

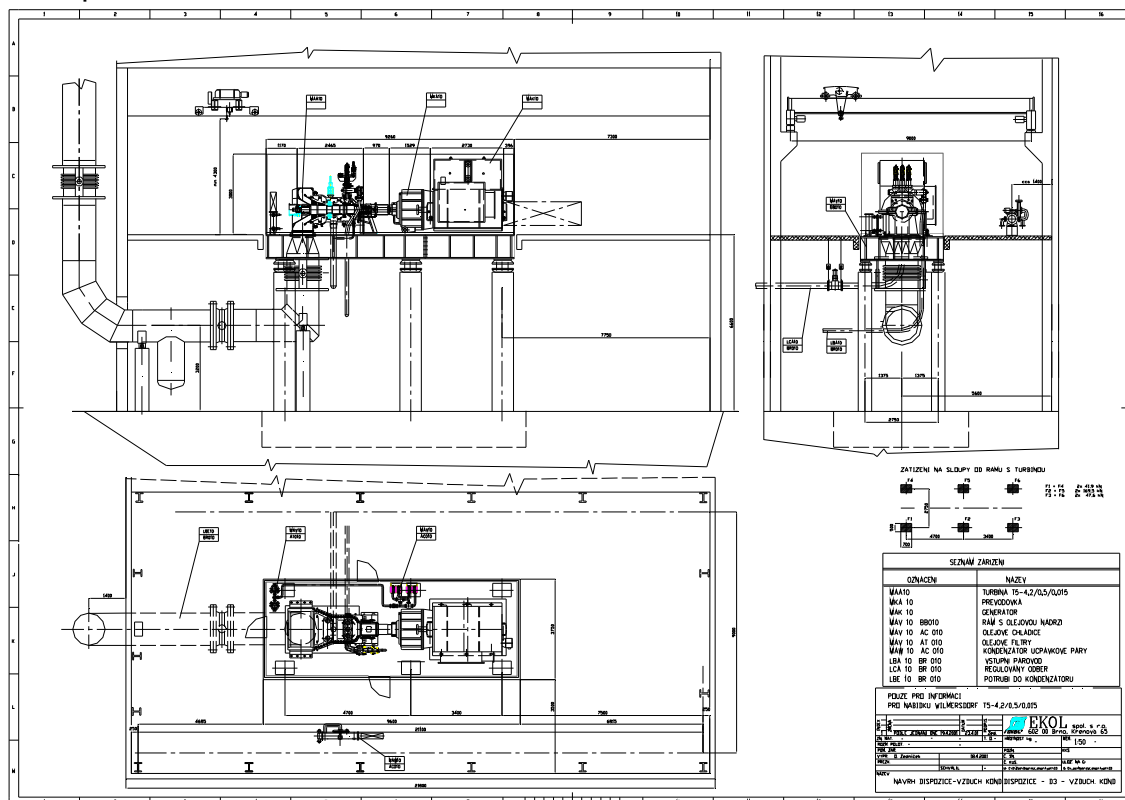
a) Turbosoustrojí na podlaží $\pm 0,000$ m

Provedení strojovny kondenzační turbíny pro vzduchovou kondenzaci na podlaží $\pm 0,000$ m, kde výstupní potrubí je kompenzováno tlakově vyváženým kompenzátorem. Nevýhodou tohoto dispozičního uspořádání jsou velké nároky na odvodnění výstupního hrdla a nutnost umístit některá pomocná zařízení pod podlaží $\pm 0,000$ m (NTO, odvodnění, sběrná nádrž kondenzátu a kondenzátní čerpadla).

Výstup páry do kondenzátu je také možný axiálním výstupovým hrdlem. Tento typ výstupního hrdla má výhodu v nižších ztrátách oproti klasickému výstupnímu hrdlu (výstup páry kolmo na osu), ale klade vyšší nároky na ucpávky zadního ložiska. Výstup mechanického výkonu na generátor přes převodovku nebo u většího turbosoustrojí napřímo na přední část turbíny.

b) Turbosoustrojí na turbínovém stole +5,000 m ÷ +8,000 m

Dispozice turbosoustrojí na podlaží +4,500 m ÷ +6,000 m je obdobné jako u protitlakových turbín. Výstupní hrdlo je vyvedeno pod podlažím (+5,000 m ÷ +8,000 m). Odvodnění turbíny není provedeno jako u turbíny na podlaží ±0,000 m výstupním hrdlem, ale je s výhodou provedeno v nejnižším bodem přímo ve výstupním parovodu. Toto odvodnění má výhodu v tom, že kondenzát, vzniklý ve výstupním potrubí nepadá zpátky (proti směru proudění páry) do výstupního hrdla na poslední nosič lopatek.



Obrázek 7 - Výkres dispozice strojovny pro nabídku Wilmersdorf T 5,4 MW [Ekol s.r.o.]

1.2.2. Povrchová kondenzace (topný výměník)

a) Turbosoustrojí na podlaží ±0,000 m

V tomto provedení je kondenzátor (topný výměník) instalován na stejném podlaží jako celé turbosoustrojí. Výhodou tohoto řešení je opět nízká výška strojovny, která může být nižší o výšku turbínového stolu, avšak nevýhodou je větší zastavěný prostor strojovny. Jako u všech předchozích dispozičních uspořádání na podlaží ±0,000 m je nutné vytvořit sklepení sběrné nádrže kondenzátu, kondenzátních čerpadel, odvodnění turbíny a potrubí a dalších pomocných zařízení.

Uspořádání strojovny je navrženo tak, že topný výměník je umístěn vedle turbíny na podlaží ±0,000 m a je spojen s turbínou výstupním potrubím vybavené kompenzátory. Je nutné dodržet nátokovou výšku pro kondenzátní čerpadla, která jsou umístěna v podsklepení, výšku jeřábového háku a prostory pro odkládací plochy při revizích turbosoustrojí.



Obrázek 8 - Kielce - Polsko, pohled na turbínu a olejové hospodářství [Ekol s.r.o.]

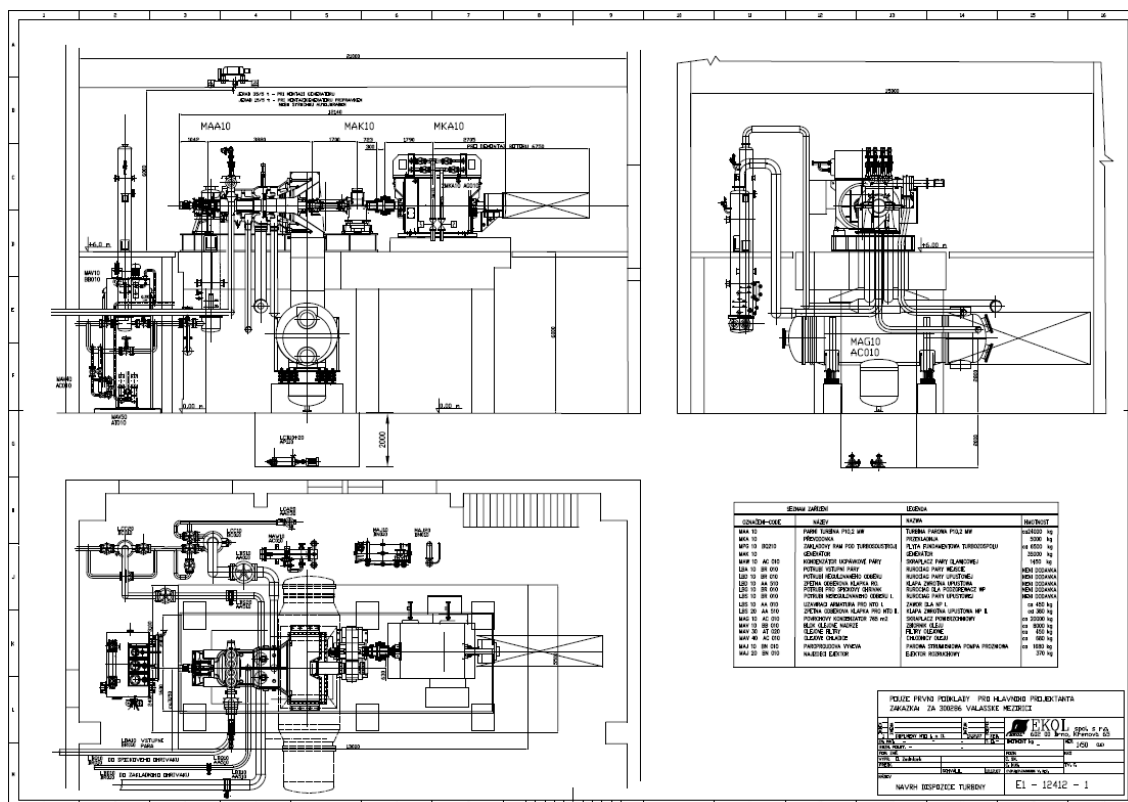


Obrázek 9 - Kielce - Polsko, pohled na topný výměník a montáž výst. parovodu [Ekol s.r.o.]

b) Turbosoustrojí na turbínovém stole +5,000 ÷ 8,000 m

Klasické uspořádání strojovny o výšce podlaží dle velikosti turbosoustrojí, kondenzátoru a jeho příslušenství má řadu výhod.

- uspořádání na podlaží je provedeno podle jednotlivých potřeb komponentů
- výškové uspořádání je navrženo podle provozních možností a funkce pomocných zařízení jakými jsou například: kondenzátor ucpávkové páry (KUP), vývěvy, najížděcí ejektor, odvodnění, sběrná nádrž kondenzátu, kondenzátní čerpadla.
- výškové uspořádání regeneračních ohříváků.



Obrázek 10 - Výkres dispozice strojovny, nabídka Valašské Meziříčí T 10MW [Ekol s.r.o.]

Turbína s převodovkou jsou umístěny na ocelovém rámu, jenž je přikotven k betonovému základu. Generátor je ukotven přímo na betonový základ, na zvýšeném soklu. Pomocná zařízení jsou umístěna na stejném podlaží jako turbosoustrojí a jsou uspořádána tak, aby potrubí kondenzátu navazovalo za sebou podle funkce a posloupnosti jednotlivých zařízení. Je zapotřebí dodržet postupný ohřev kondenzátu před vstupem do napájecí nádrže. V tomto uspořádání je rovněž dodrženo výškové uspořádání jednotlivých potrubních tras podle pracovního tlaku a rovněž uspořádání jednotlivých odvodňovacích větví.

Pro potřeby revizí a oprav je nutné zohlednit výšku jeřábu (osu háku jeřábu), aby byl prostor na zvedací zařízení pro vrch skříně a rotor turbíny. Je rovněž nutné dodržet prostor za generátorem pro vytažení jeho rotoru. V prostoru kondenzátoru je nutné vyhradit volný prostor pro případnou výměnu porušených trubek v kondenzátoru nebo pro případnou výměnu celého trubkového svazku. Další zařízení kondenzace a příslušenství turbosoustrojí, je nutno umístit tak, aby byla dostupná pro jeřáb tj. prostor nad těmito komponenty nesmí být umístěno žádné zařízení, které by k jejich přístupu bránilo.

1.2.3. Turbosoustrojí na původních základech

Při náhradě stávajícího turbosoustrojí (konec životnosti, náhrada havarovaného turbosoustrojí apod.) je snaha použít nebo maximálně využít původní základ turbosoustrojí, pokud to není možné tak využít co nejvíce z původního základu.

Instalaci turbosoustrojí lze podle rozsahu úprav stávajícího základu turbosoustrojí a dispozice zařízení ve strojovně rozdělit zhruba takto:

a) Úprava stávajícího základu

Využití základu a prostoru strojovny bez bouracích prací a využití současné základové desky,



Obrázek 11 - Kazaň - Rusko, pohled na turbosoustrojí ze strany turbokompresoru [Ekol s.r.o.]

b) Náhrada stávajícího základu

- Použít sloupy a uříznout horní desku, která se nahradí novou na pružném uložení (GERBY). Nová deska se provede podle potřeb nového turbosoustrojí,
- Využít pouze spodní základovou desku a na ní zhotovit nové sloupy včetně horní desky podle potřeby nového turbosoustrojí



Obrázek 12 - Chomutov, pohled na montáž turbosoustrojí 20MW [Ekol s.r.o.]

2. SYSTÉM ZNAČENÍ ENERGETICKÝCH CELKŮ

2.1. Systém značení KKS

KKS je systémové značení pro splnění platných norem ČSN, EN, IEC a ISO pro zhotovení dokumentace v oblasti energetiky, elektrotechniky, stavebnictví, strojní technologie, jejich řídicích a informačních systémů v souladu se směrnicemi EU, čímž zasahuje do všech oblastí od projektování, přes údržbu až po likvidaci zařízení.

Označení KKS je zkratka z německého jazyka (Kraftwerk - KennzeichenSystem). Systém značení elektrárenských zařízení standardně používaný v EKOL spol. s r.o. Hlavním cílem tohoto značení bylo vytvořit univerzální značení energetických celků tak, aby bylo jednotné pro celou energetiku. Tento systém značení je kompatibilní s ČSN EN 61346-1,2. Výhodou tohoto systémového značení je jeho nezávislost na úředním jazyku a zvyku značení dodavatelů zařízení a je tak zajištěna vhodnost pro mezinárodní použití.

2.2. Pravidla značení v KKS

2.2.1. Účel značení

Tento pracovní postup předepisuje pro systém značení KKS (při značení elektrárenských zařízení podle technologického procesu) způsob číslování systémů zařízení, armatur, měřících míst a komponentů pro:

- Systémy ve stupni členění 1 (datové místo F_N)
- Agregáty ve stupni členění 2 (datové místo A_N)
pro podskupiny
 - A (AA - armatury, AP - čerpadla atd.)
 - B (BB - nádrže. BR - potrubí atd.)
 - C (CF - měření průtoku, CP - měření tlaku atd.)
- Komponenty ve stupni členění 3 (datové místo B_N)

2.2.2. Obecné pojmy

KKS (Kraftwerk – KennzeichenSystem)

- Systém značení elektrárenských zařízení standardně používaný ve firmě EKOL s.r.o.,

SYSTÉM

- Soustava strojů, zařízení a přístrojů, které plní určenou funkci a slouží určenému účelu v technologickém procesu,

AGREGÁT

- Stroj nebo zařízení sestávající z jednoho nebo několika komponentů (například čerpací agregát - čerpadlo, hydraulická spojka, motor, elektro-armatura, armatura, servopohon apod.),

KOMPONENT

- Funkční součást agregátu.

2.3. POPIS

tabulka 1 - Složení stupňů členění KKS

ČÍSLO STUPNĚ ČLENĚNÍ	0	1			2			3	
OZNAČENÍ PODLE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	CELKOVÉ ZAŘÍZENÍ	OZNAČENÍ SYSTÉMU			OZNAČENÍ AGREGÁTU			OZNAČENÍ KOMPONENT AGREGÁTU	
OZNAČENÍ DATOVÉHO MÍSTA	G	F ₀	F ₁ F ₂ F ₃	F _N	A ₁ A ₂	A ₃	A _N	B ₁ B ₂	B _N
DRUH DATOVÉHO MÍSTA	A nebo B	(N)	A A A	N N	A A	N N N	(A)	A A	N N

A - písmenné znaky (latinská abeceda mimo I a O a zvláštní znaky)

N - číselné znaky (arabské číslice)

Datová místa označena závorkami () ve firmě EKOL s.r.o. nepoužívají.

2.3.1. Číslování systému - datové místo F_N

1		
F ₀	F ₁ F ₂ F ₃	F _N
(N)	A A A	N N

Číslo systému

Pro číslování systému používáme přednostně číslování po celých desítkách.

Číslování na datovém místě F_N se řídí následujícími zásadami:

- číslování začínáme vždy od 10, změní-li se některá z předcházejících částí,
- číslování může probíhat s mezerami,
- směr číslování je zpravidla shodný se směrem toku média,
- číslování se řídí podle priorit (například hlavní a vedlejší zařízení) nebo podle určitého směru pohledu (například zleva napravo, shora dolů apod.).

2.3.2. Číslování na úrovni agregátů – datová místa

2		
A ₁ A ₂	A ₃	A _N
A A	N N N	(A)

Číslo agregátu

Číslování strojů a zařízení

Číslování na datovém místě A_N u strojů a zařízení (jako jsou čerpací agregáty, ventilátory a kompresory, tepelné výměníky případně jiné) se řídí následujícími zásadami:

První číslo N₁ rozlišuje instalovaný pohon

- 0 - bez pohonu
- 1 - elektrický pohon
- 2 – parní turbina
- 3 - plynová turbina
- 4 - spalovací motor
- 5 - hydraulický pohon
- 6 - pneumatický pohon
- 7 - vodní pohon
- 8 – větrný pohon
- 9 - neobsazeno

Druhé číslo N₂ slouží pro pořadové číslování

Třetí číslo N₃ je nevyužito a je vždy 0 (nula)

Číslování armatur

Číslování na datovém místě A_N u armatur (AA) se řídí následujícími zásadami.

První číslo N₁ rozlišuje druh armatury nebo funkci

- 0 - armatura ruční uzavírací
- 1 - armatura s elektropohonem
- 2 - armatura regulační s pohonem
- 3 - armatura pojistná
- 4 - armatura s elektromagnetem (solenoid)
- 5 - armatury speciální:
 - zpětné armatury
 - neovládané
 - ovládané
 - s přepouštěním
 - odvaděče kondenzátu
 - ruční regulační armatury
 - potrubní síta, filtry
 - mařiče energie
- 6 - ruční armatury odvodňovací a vypouštěcí
- 7 - ruční armatury odvzdušňovací a zavzdušňovací
- 8 - první uzavěr pro měřicí místo (případně i druhý u VT)
- 9 - armatury s hydropohonem nebo pneupohonem ,

Poznámka: čísla 1 až 5 jsou nadřazena číslům 6 a 7

Druhé číslo N_2 je pro dekadické pořadové číslování a je shodné s pořadovým číslem potrubní větve (ve které je armatura nainstalována). Jak je dále v odstavci „Číslování potrubních větví“ uvedeno, k číslování potrubních větví se používá výhradně celých desítek.

Třetí číslo N_3 slouží k pořadovému číslování armatur ve stejné potrubní větvi použitím čísel 0 až 9. Pokud dojde ve zvláštních případech ke shodě označení armatury vlivem nutnosti nadřazení číslování ve skupině prvního čísla N_1 je nutno je vzájemně rozlišit dalším pořadovým číslem.

Například: označením AA510 by mohl být označen zpětný ventil ve větvi BR010, ale i zpětný ventil v odvodňovací větvi BR610. Zpětný ventil v odvodňovací větvi pak tedy označíme dalším pořadovým číslem AA511. Ztratíme tím však v tomto případě výhodu přiřazení armatury k příslušné větvi.

Číslování potrubních větví

Číslování na datovém místě A_N u potrubí (BR) se řídí následujícími zásadami.

První číslo N_1 určuje účel potrubí

- | | |
|---|------------------------------|
| 0 - potrubí systémů | |
| 1 - potrubí systémů | |
| 2 - potrubí systémů | doporučuje se používat pouze |
| 3 - potrubí systémů | číslo "0" pro pozici N_1 |
| 4 - potrubí systémů | Dále viz druhé číslo N_2 |
| 5 - potrubí systémů | |
| 6 - potrubí odvodňovací a vypouštěcí | |
| 7 - potrubí odvzdušňovací a zavzdušňovací | |
| 8 - impulsní potrubí | |
| 9 - neobsazeno | |

Druhé číslo N_2 je pro pořadové číslování potrubních větví používá se zásadně celých desítek. Pokud je počet potrubních větví v daném systému větší než devět, je nutné systém vhodně rozdělit na datovém místě F_N použitím jednotkových čísel na pozici N_{12} (například poslední větev je LCW20 BR090 a tak dále pokračujeme LCW21 BR010 atd.)

Třetí číslo N_3 je nevyužito a je vždy 0 (nula).

Číslování měřících míst

Číslování měřících míst na datovém místě A_N se řídí následujícími zásadami:

První číslo N_1 určuje druh použitého měření

- | |
|---|
| 0 - přímé analogové měření |
| 1 - přímé binární měření |
| 2 - neobsazeno |
| 3 - neobsazeno |
| 4 - testovací měření, garanční měření, rezervní odběr |
| 5 - místní měření |
| 6 - autonomní systém měření |
| 7 - neobsazeno |
| 8 - neobsazeno |
| 9 - sdružené (vypočítané údaje) |

Druhé a třetí číslo N_2 , N_3 slouží k pořadovému číslování a začíná pro každou skupinu měřených veličin (teplota, tlak, průtok atd.) zvlášť od čísla 1 (001).

Číslování komponentů

- k číslování komponentů, datové místo B_N , se používá dvoumístného číslování a začíná se od čísla 01 do 99,
- označování komponentů se ve výkresové dokumentaci zpravidla neuvádí.

Způsob psaní kódového označení

V textových částech dokumentace používáme tzv. "malého dělení s mezerami".

Tvar kódu při psaní do jedné řádky:

(N)_AAANN_AANNN_AANN

Příklad popisu čerpadla prvního čerpacího agregátu druhého bloku

2_LAC10_AP110_KP01

Tvar kódu při psaní do více řádek:

(N)_AAANN

AANNN

AANN

Příklad popisu servopohonu šoupátka před turbínou na přívodním potrubí.

(1)_LBA10

AA110

-M01

Poznámka:

- podtržítka je použito pro zvýraznění mezery, ve skutečném popisu se nepoužije,
- ve výkresové dokumentaci se u symbolů agregátů používá kódů do více řádek,
- číslo bloku se neuvádí: obsahuje-li stavba v konečné výstavbě pouze 1 blok, nejde-li o blokovou stavbu nebo jde-li o shodnou společnou dokumentaci pro více bloků.

3. PARNÍ A KONDENZÁTNÍ SYSTÉM

Funkční schéma pára-voda je možno rozdělit do několika funkčních celků, které plní svůj daný účel.

3.1. *Volba materiálu potrubí dle pracovních parametrů*

ČSN EN 60045-1 „PARNÍ TURBÍNY Část 1: Specifikace“

Vstupní tlak

Odchylka jmenovitého tlaku max. +5%

Maximální tlak $120\% P_{jmen}$, max. součet trvání 12hod/12měsíců

Vstupní teplota ($T \leq 566^{\circ}\text{C}$)

Průměrná teplota v průběhu 12 měsíců

$T_{jmen} + 8\text{K}$

\leq teplota jmenovitá

kdykoliv, ale nesmí být porušena předchozí podmínka

$T_{jmen} + (8\text{K}; 14\text{K})$

max. součet trvání 400hod/12měsíců

$T_{jmen} + (14\text{K}; 28\text{K})$

max. 15 min v kuse

max. součet trvání 80hod/12měsíců

Materiál potrubí volíme dle materiálového listu a tlakovou třídu v závislosti na teplotě podle ČSN 130010 „JMENOVITÉ TLAKY A PRACOVNÍ PŘETLAKY“.

3.2. *Správná dimenze potrubí*

Rychlosti v potrubí je nutné volit tak, aby se dosáhlo optimálního řešení mezi pořizovacími náklady a hospodárným provozem zařízení. Konečná tlaková ztráta Δp musí být ≤ 5 až 10% počátečního tlaku.

Uvedené doporučené rychlosti u nasycené páry nelze zpravidla dodržet v oblasti nízkých tlaků (oblast kolem 1 bar(a) a ve vakuu), protože vedou k neproveditelným průměrům potrubí s ohledem na rozměry turbíny v této oblasti. Z tohoto hlediska je nutné volit rychlosti v potrubí vyšší. Uvedené doporučené rychlosti v tabulce 2 jsou voleny s ohledem na nebezpečí eroze materiálu, hlavně v ohybech.

tabulka 2 - Doporučené rychlosti v potrubí

Médium	Rychlost [m·s ⁻¹]	Poznámka 1	Poznámka 2
Přehřátá pára	40	do tlaku 40 bar(a)	Protitlakové turbíny
	50÷60	do tlaku 100 bar(a)	Kondenzační turbíny
Pára v regulovaných a neregulovaných odběrech	40	20 ÷ 40 bar (a)	tlak v odběru
	50	4 ÷ 20 bar (a)	tlak v odběru
	60	1 ÷ 4 bar (a)	tlak v odběru
Topné odběry	max. 70	1 ÷ 2,5 bar (a)	topný odběr
Odběr ve vakuu	80	vakuum	regenerační výměník
Výstup do kondenzace	do 200	hluboké vakuum	vodní kondenzátor
Ucpávková pára	do 25	podtlaková větev	odsávání ucpávek
	do 35	pracovní pára	zahlcení ucpávek
Brýdová pára	15÷20	odsávání z kondenzátoru	
Voda	0,5	sání kondenzátních čerpadel	
	2	výtlač kondenzátních čerpadel	
	0,5÷1,0	sání napáječek – odstředivých	
	2,0÷3,0	výtlač odstředivých napáječek	
	0,7÷1,5	sání čerpadel chladicí vody	
	1,5÷5,5	výtlač čerpadel chladicí vody	
Olej	0,5	sání čerpadel	
	1,2÷1,5	potrubí mazacího oleje	
	0,25÷0,5	odpadní potrubí	

3.2.1. Vstupní parovod

Vstupní parovod slouží k přivedení páry do turbíny, paroproudých vývěv, pokud není v místě instalace turbíny dostupná pára o nižších parametrech.

3.2.2. Zapojení potrubí pod turbínou

potrubí vyrovnávacího pístu (popř. dvou vyrovnávacích pístů) je nutno zapojit za příslušnou řadu lopatek (nosiče lopatek) podle termického výpočtu turbíny.

3.2.3. Zahlcení a odsávání ucpávek

Aby nedocházelo k úniku páry do prostoru strojovny, používá se na turbíně odsávání ucpávek. Pomocí KUP vytvoříme mírný podtlak v odsávané ucpávce 0,98bar(a), v ucpávce se tak odsává jak pára tak okolní vzduch. Tato parovzdušná směs se podtlakem v KUP nasaje kde pak pára zkondenzuje a vzduch se vrací zpět do prostoru strojovny. Potrubí pro odsávání ucpávek musí být provedeno symetricky, z důvodu stejného tlakového poměru na obou ucpávkách a kvůli odvodnění. Dle výpočtu ucpávek a dovolené rychlosti proudění, je nutné vypočítat správnou světlost potrubí.

Zahlcení ucpávek se provádí z důvodu utěsnění ucpávek při startu kondenzační turbíny. Při startu turbosoustrojí se zahlcuje ucpávka cizí parou o tlaku 1,3bar(a) a teplotě 200-250°C. Aby byly tyto parametry dodrženy, vkládá se do potrubí pro zahlcení ucpávek regulátor tlaku, popřípadě zástřikem vody pro ochlazení páry. Za provozu se přítok cizí páry uzavře a přední ucpávka zahlcuje ucpávku zadní. Potrubí zahlcované páry by mělo být rovněž symetrické a musí být odvodněné.

U protitlakých turbín se ucpávky nezahlcují, pára z prvního stupně ucpávek se může použít v technologii a odsává se pouze parovzdušná směs do KUP jako u kondenzační turbíny.

3.2.4. Vakuový systém

Odsávání brýdových par z kondenzátoru je prováděno pomocí vývěv. Na stranách kondenzátoru jsou proto připraveny zpravidla 2 otvory symetricky po stranách kondenzátoru a je nutno dodržet symetrii připojeného potrubí.

Všechny armatury, které jsou ve vakuovém systému musí být těsné, proto se používají buď armatury s vlnovcem a nebo párou zahlcené.

3.2.5. Odvodnění turbíny a parovodů

Odvodnění se dělí na přímé a nepřímé. Přímé odvodnění je otevřeno při najíždění turbosoustrojí, kdy vzniká velké množství kondenzátu, který je nutné odvést a zároveň tím dochází k prohřevu parovodů a turbíny.

Při použití potrubí pro tlak PN63 a vyšší, musí být armatury zdvojené, což platí i pro měření a vypouštění. Pokud jsou odvodnění svedena do jednoho odvaděče, musí být provedení odvodnění takové, aby nedošlo k vyřazení armatury!

U kondenzačních turbín musí být odděleno odvodnění turbíny, které je zavedeno přes nízkotlakou sběrnici do kondenzátoru, od odvodnění přívodního potrubí a odběrů za klapkami, tj. všechna odvodnění, která jsou v podtlaku při najíždění turbíny! Ostatní odvodnění (vstupní parovod, odběry apod.) jsou zavedeny do vysokotlaké sběrnice kondenzátu.

Odvodnění KUP a z atmosférické části PPV zavedeno do sběrné nádoby. Z této nádoby je kondenzát sveden buď přímo do kondenzátoru nebo lépe do jiné sběrné nádoby kondenzátu. Odvodnění podtlakové části PPV musí být zavedeno přes odvaděč, který je umístěn v blízkosti kondenzátoru přímo do expanzní roury kondenzátoru

Odvodnění musí být provedeno vždy z nejnižšího místa potrubí (turbíny) buď přes sifon, nebo pomocí odvaděče kondenzátu. Záleží na dispozičních možnostech a rozdílu tlaku mezi odvodňovaným potrubím a sběrnici kondenzátu. Odvodnění musí být navrženo tak, aby vždy tok kondenzátu směřoval z prostoru vyššího tlaku do tlaku nižšího a musí být dodržen spád potrubí z důvodu vypouštění potrubí.

Potrubí pro odvod kondenzátu se dimenzuje na vzniklé množství kondenzátu, který se vytvoří při ohřevu potrubí (turbíny) o $\Delta t = 6^\circ\text{C}$ za dobu jedné minuty.

3.2.6. Odvaděč kondenzátu

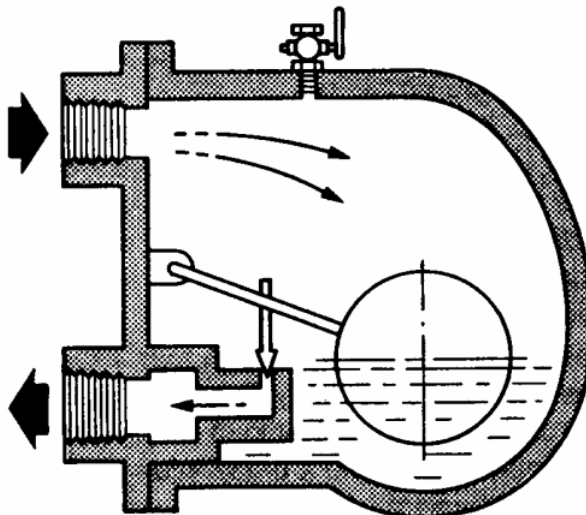
je zařízení, které při vytváření kondenzátu tento kondenzát odpouští a zabraňuje nebo alespoň minimalizuje únik páry do sběrnice kondenzátu.

Při řešení odvádění kondenzátu vzniklého za provozu v parním potrubí se nesmí zapomenout, že kondenzát má většinou teplotu rovnou teplotě páry, často i 180°C . Protože odvod kondenzátu je prioritní, musí se použít takový odvaděč, který nepotřebuje ochlazení kondenzátu. Tomuto požadavku vyhovuje plovákový odvaděč, doplněný za výtokem chladičem kondenzátu. [1]

3.3. Odvaděče kondenzátu

3.3.1. Odvaděč kondenzátu plovákový

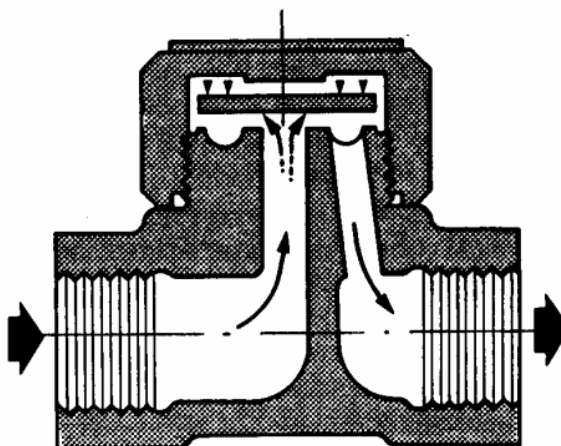
pracuje na mechanickém principu otevírání cesty kondenzátu do kondenzátního hospodářství při dosažení určité hladiny kondenzátu v odvaděči. Jeho použití je vhodné tam, kde je nutno odvádět kondenzát okamžitě. Tento typ odvaděče je odolný vůči tlakovým rázům v systému a je schopen odvést kondenzát jak v malém, tak i ve velkém množství. Naopak je nevhodné tento odvaděč použít tam, kde je nutné podchlazení kondenzátu a tam kde vadí tlakové rázy, vzniklé rychlým uzavřením odvaděče.



Obrázek 13 - Plovákový odvaděč kondenzátu [1]

3.3.2. Odvaděč kondenzátu termodynamický

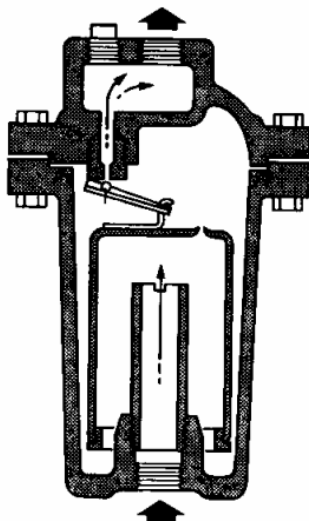
jeho konstrukce a princip je velmi jednoduchý. Pohyblivá destička je obtékána vysokou rychlostí páry a tím uzavírá vstupní i výstupní sedlo. Odvaděč propustí jen kondenzát, který proudí podstatně nižší rychlostí. Nevýhodou je nutnost použít před odvaděčem filtr, kvůli malému průtočnému průřezu a jeho funkce se ze zmenšujícím se tlakovém spádu zhoršuje.



Obrázek 14 - Termodynamický odvaděč kondenzátu [1]

3.3.3. Odvaděč kondenzátu zvonový

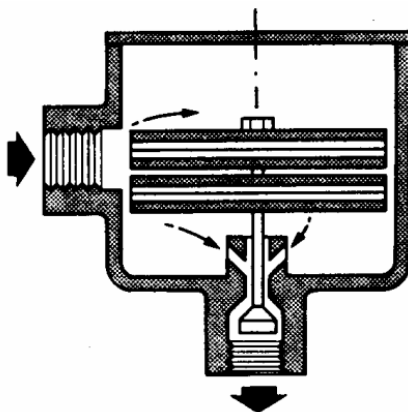
je opět mechanický, který pracuje na principu zvedání "zvonu", tj. poklopu, který zvedacím mechanismem otevírá odváděcí cestu. Je nejrobustnější z odvaděčů a je tedy vhodný pro nejvyšší přetlaky páry a pro přehřátou páru (pro přehřátou páru musí být na vstupu zpětný ventil). Je odolný proti přehřátí a kolísání přetlaku. Není odolný proti přítomnosti vzduchu, zamrznutí, vodnímu rázu, vibracím a korozivnímu kondenzátu. [8]



Obrázek 15 - Zvonový odvaděč kondenzátu [1]

3.3.4. Odvaděč kondenzátu termostatický (bimetalický)

pracuje na principu rozdílné teplotní roztažnosti dvou kovů v podobě několika párů pásků nebo destiček. Při průtoku páry se destičky (pásky) prohnu a uzavřou sedlo ventilu, pokud se v odvaděči nashromáždí kondenzát, destičky (pásky) se ochladí a otevřou ventil, který odvede veškerý kondenzát. Po odvedení kondenzátu začne odvaděčem prostupovat pára, která ohřeje bimetalové destičky (pásky) a cyklus se neustále opakuje. Výhodou je odolnost proti vodním rázům a snadná přestavitelnost na různou otevírací teplotu. Nevýhodou je jeho velká setrvačnost, která zvyšuje ztráty páry.



Obrázek 16 - Bimetalový odvaděč kondenzátu [1]

3.4. Kondenzátní systém

Pro správný návrh kondenzátních čerpadel, musí být vypočtena velikost hydraulických ztrát od kondenzátních čerpadel, přes KUP, paroproudé vývěvy (pokud nejsou použity vývěvy vodokružné), regulační ventil, dochlazovač kondenzátu, NT ohříváky a všechny uzavírací armatury včetně potrubí pro stanovení výtlačné výšky kondenzátních čerpadel. Vratný kondenzát, je nutno zavést do sprchy nad svazek kondenzátoru z důvodu chlazení PPV.

3.5. Zapojení nízkotlakého ohříváku (NTO)

Nízkotlaký ohřívák (dále NTO) slouží ke zvýšení účinnosti tepelného oběhu turbíny. Ve své podstatě jde o tepelný výměník se změnou skupenství ochlazovaného média, kde probíhá změna fáze z vodní páry na vodu (kondenzát). U menších průmyslových turbín, se používá především vertikální provedení.



Obrázek 17 - Nízkotlaký regenerační ohřívák vertikální konstrukce [9]

3.6. Zpětná odběrová kapka

Hlavním úkolem zpětné odběrové klapky je při odstavení turbosoustrojí zabránit zpětnému toku páry (z regulovaného odběru nebo NTO apod.) do turbíny, což by mělo za následek růst otáček turbosoustrojí nad kritickou mez a následnou havárii. Zpětná klapka je obvykle řešena jako motýlková zpětná bezucpávková armatura s dvojitou excentricitou. Způsob zavěšení je tlakově vyrovnaný, na hřídel tedy nepůsobí žádné axiální síly. Na hřídeli je dále nasazeno závaží, které pomáhá uzavřít klapku při zpětném proudění a drží talíř v uzavřené poloze. K tělesu klapky je rovněž připojen pomocný, jednočinný pneupohon, jehož úkolem je aretace klapky v zavřeném stavu.

4. Olejové hospodářství

Olejové hospodářství má za úkol zajišťovat dodávku mazacího oleje pro přední a zadní radiální ložiska a axiální ložisko v turbíně, dále pak dodává olej do generátoru (nebo jiného zařízení např. rotační kompresor apod.) a pro mazání ložisek a ostřík soukolí uvnitř převodovky. V případě že je využita část výtlačku mazacího oleje pro pohony regulačních ventilů, rychlozávěrného ventilu, clona pro regulovaný odběr na turbíně, nazývá se tento systém jako „nizkotlaký regulační olej“.

V opačném případě, kdy je použita samostatná jednotka pro regulační pohonná zařízení, se využívá tzv. „vysokotlaká regulace“. Tato jednotka je dodávána jako celek, obsahuje samostatnou nádrž pro hydraulický olej, a veškerá další zařízení nutná pro její bezpečný a spolehlivý provoz jako jsou například čerpadla, filtry, regulační a bezpečnostní ventily apod. Pro funkci vysokotlakého hydraulického hospodářství, je zapotřebí přívod elektrické energie pro její provoz, připojení na systém chladicí vody a napojení na systém „Měření a regulace“ (MaR).

4.1. Návrh olejového systému

Olejový systém musí být navržen tak, aby splňoval tyto požadavky:

- veškerý olej v systému musí být vypustitelný
- olejový systém musí být přístupný obsluze
- musí být zamezeno případným únikům oleje ze systému
- maximální přijatelná teplota olejové nádrže je 60°C

V okolí generátoru se musí olejový systém dispozičně řešit společně s vyvedením elektrického výkonu z generátoru, chladicím systémem pro generátor, odvodněním turbíny, regulačním hydraulickým systémem a skříněmi MaR na rámu.

4.1.1. Parametry mazacího oleje

Množství mazacího oleje je dáno:

- Jmenovitou spotřebou turbosoustrojí (turbína, převodovka, generátor) + rezerva 20%. Rezerva je důležitá pro předběžný návrh, protože skutečná spotřeba oleje se může lišit v závislosti na provozních podmínkách,
- Ztrátovým výkonem na turbosoustrojí,
- Zda bude použita nizkotlaká regulace pohonů,
- Stanovením hladin oleje v nádrži (výšková úroveň čerpadel oleje, množství oleje v potrubí a zařízeních, tepelná roztažnost oleje).

Teplota mazacího oleje je dána:

- Typem oleje použitým v olejovém systému (ISO VG46),
- Minimální provozní teplotou oleje pro spuštění zubových čerpadel 16 °C a 30°C pro vřetenová čerpadla,
- Požadovanou teplotou oleje za chladičem oleje je $42 \pm 2^\circ\text{C}$.

Tlak mazacího oleje je dán:

- jmenovitým tlakem před turbosoustrojím v rozmezí 2,5 ÷ 3,5 bar(g),
- druhem regulace tlaku (tlakový rozvod pouze mazacího oleje nebo rozvod mazacího a regulačního oleje),
- hydraulickou ztrátou v celém systému (potrubí, armatury, filtry chladiče apod.),
- závěrným tlakem čerpadla nebo tlakem nastaveným na pojistném ventilu.

4.2. Čerpadla oleje

4.2.1. Hlavní olejové čerpadlo (HOČ)

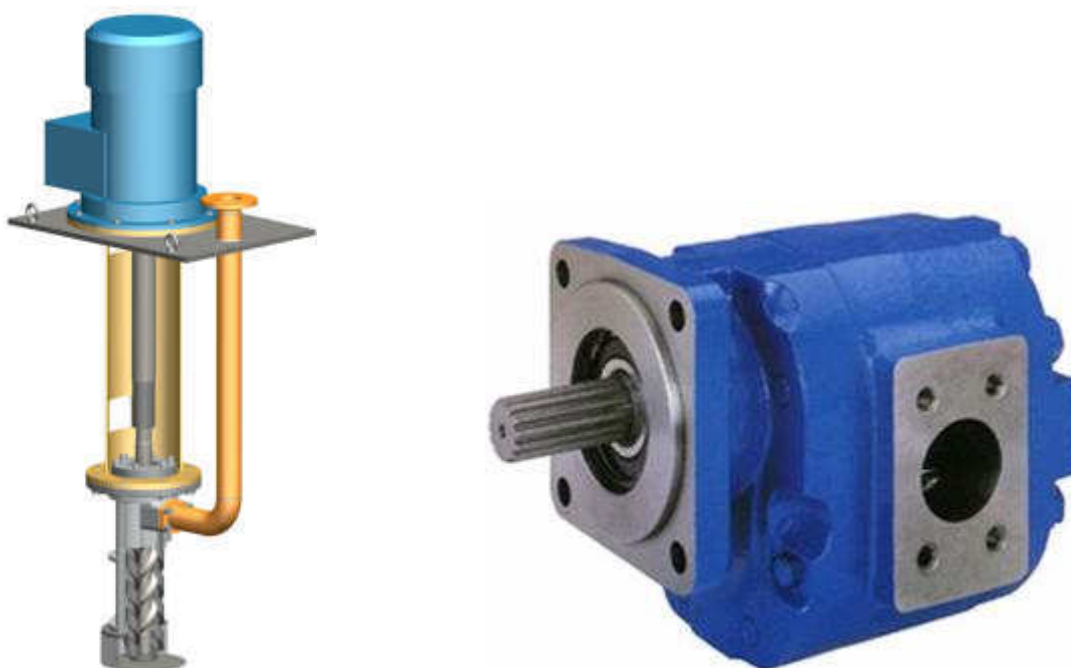
Má za úkol zásobovat tlakovým mazacím olejem turbosoustrojí (popřípadě i zásobování pro hydropohony) v běžném provozním režimu. V zásadě se dají tyto čerpadla rozdělit na dva typy:

a) Hlavní olejové čerpadlo na převodovce

bude vždy objemové (zubové nebo vřetenové), neumožňuje nastavení zadaného pracovního bodu, olej se bude vždy přepouštět. Při použití čerpadla na převodovce, je zapotřebí provést zahlcení o odvzdušnění sacího traktu čerpadla.

b) Hlavní olejové čerpadlo na olejové nádrži

objemové čerpadlo vřetenové nebo zubové poháněné asynchronním elektromotorem 3 x 400V o frekvenci 50 nebo 60Hz podle země (rozvodné sítě), kde je zařízení instalováno. Toto čerpadlo je koncipováno jako jednootáčkové.



Obrázek 18 - vlevo elektrické čerpadlo [10], vpravo zubové čerpadlo s pohonem od převodovky [11]

V případě, že je čerpadlo instalováno na převodovce, musí být dispozičně zajištěno, aby nádrž nebyla níže jak 4m pod osou vstupu oleje do ložisek (určuje výrobce čerpadla). V praxi se osvědčilo tuto hodnotu snížit na 2,5m.

Čerpadlo umístěné na nádrži není nijak výrazně omezeno umístění olejové nádrže. Při výškovém rozdílu mezi osou ložisek a čerpadly na nádrži, je nutné zohlednit tlakovou ztrátu, způsobenou výškovým rozdílem. Obecně je však vhodné nádrž umístit co nejbližší turbosoustrojí.

4.2.2. Najížděcí olejové čerpadlo

Uvádí se do chodu před samotným spouštěním turbíny. Jako pohon tohoto čerpadla slouží elektromotor 3 x 400V 50/60Hz. Při použití HOČ na převodovce, je vhodné použít čerpadlo dvouotáčkové (např.: 1500/3000 min⁻¹), ale může být použito jednootáčkové řízené frekvenčním měničem. Dokud turbosoustrojí nemá potřebné otáčky, nedává hlavní olejové čerpadlo dostatečné množství mazacího oleje a najížděcí čerpadlo jede na maximální otáčky. S rostoucími otáčkami, přibývá množství oleje dodávané HOČ a je při daných otáčkách je možné najížděcí čerpadlo přepnout na nižší otáčky, proto je použito dvouotáčkové čerpadlo. Při provozních otáčkách turbosoustrojí se najížděcí čerpadlo odstaví a veškerý mazací olej je hnán pomocí HOČ.

Při použití čerpadel na olejové nádrži je čerpadlo najížděcí dimenzováno stejně jako hlavní olejové čerpadlo. Čerpadlo je v tzv. stoprocentní záloze a čerpadla se během provozu turbosoustrojí mohou střídát úlohu najížděcího a hlavního olejového čerpadla.

4.2.3. Nouzové olejové čerpadlo

Na olejové nádrži je umístěno jedno nebo dvě nouzová čerpadla, která slouží jako havarijní mazání při výpadku elektrické energie. Nouzové čerpadlo je napájeno z nezávislého zdroje elektrické energie, kterým je akumulátorová baterie s napětím 110V nebo 220V. Pokud zákazník požaduje další nouzové čerpadlo, může být použito napájení z elektrické sítě, která je nezávislá na elektrické síti vyhrazené pro běžný provoz elektrárenského bloku. Nouzová čerpadla se dimenzují na 60% ÷ 70% množství dodávaného najížděcím a hlavním olejovým čerpadlem a tlak před regulačními clonami na turbosoustrojí 2,5 bar(g), aby byl zajištěn nouzový doběh turbosoustrojí bez poškození ložiskové kompozice.

4.2.4. Sací koš čerpadel

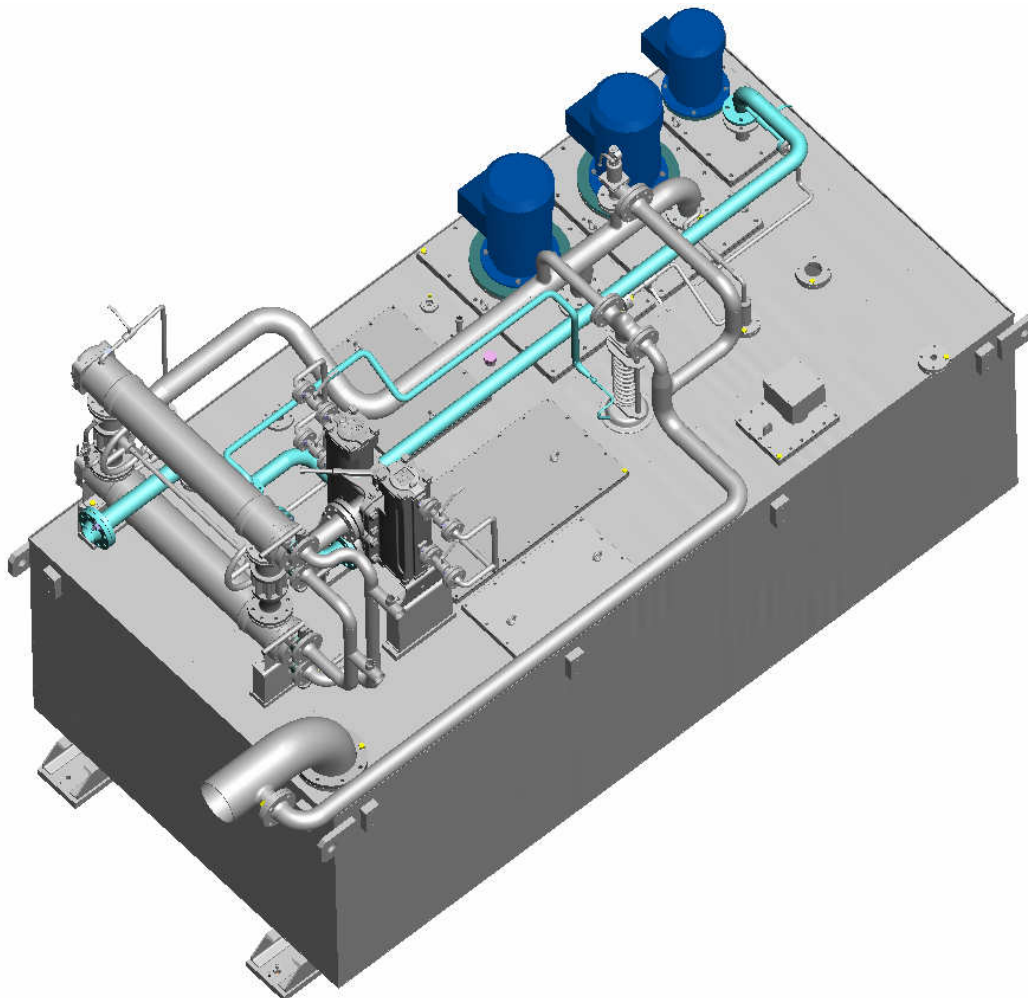
Sací koše jsou umístěny v prostoru olejové nádrže na sání olejových čerpadel ve výšce cca. 100 mm nad dnem olejové nádrže, aby nedocházelo k nasátí hrubých nečistot (odloupnutý nátěr) a kalu na dně nádrže.



Obrázek 19 - Sací koš čerpadel [12]

4.2.5. Olejová nádrž

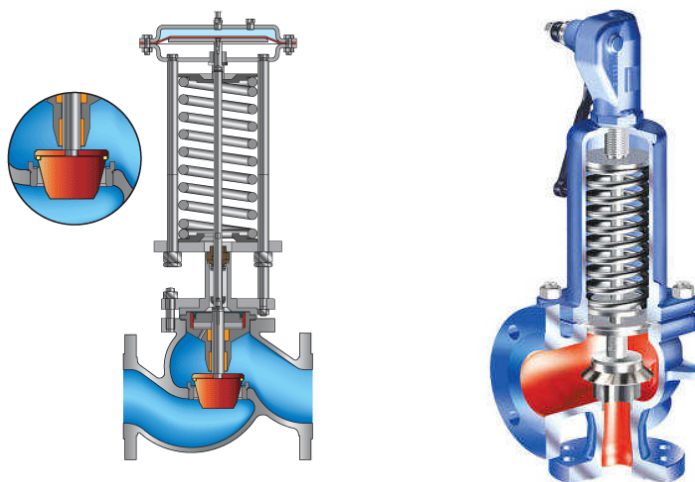
Svařovaná ocelová nádrž je navržena jako jednoduchá (se záchytnou jímkou proti případnému úniku oleje z nádrže) se spádovým dnem nebo místně dvojíta bez záchytné jímky. Minimální objem olejové nádrže je dán vytlačeným množstvím hlavního olejového čerpadla po dobu deseti minut. Olejová nádrž může být přikotvena k podlaze nebo může být umístěna na ocelové konstrukci, je však nutné dodržet minimální spád odpadního potrubí vedoucího od turbosoustrojí.



Obrázek 20 - Pohled na olejovou nádrž s výzbrojí [Ekol s.r.o.]

4.2.6. Regulátor tlaku a pojistný ventil

Při současném chodu najížděcího a hlavního olejového čerpadla vzniká přebytek dodávky mazacího oleje. Regulátor tlaku se volí jako samočinný s impulsním potrubím připojeným do rozváděcího potrubí před turbosoustrojím o tlaku $2,5 \div 3,5$ bar(g) a odpouštěním přebytku mazacího oleje zapojeným za výtlačkem najížděcího a hlavního olejového čerpadla o tlaku $5 \div 8$ bar(g). Při selhání regulačního ventilu zapůsobí pojistný ventil ($9 \div 11$ bar(g)), odpustí přebytek mazacího oleje zpět do olejové nádrže. Pojistný ventil je pro olejový systém velice důležitý a i při integrovaném pojistném ventilu v čerpadle je nutné pojistný ventil instalovat.



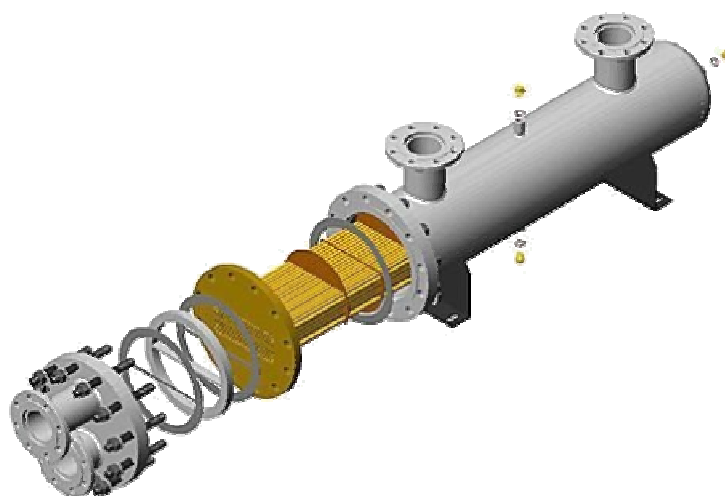
Obrázek 21 - vlevo samočinný regulátor tlaku [13], vpravo vratný pojišťovací ventil [7]

4.2.7. Chladiče oleje (tepelné výměníky)

Jsou v zásadě koncipovány jako tepelné výměníky olej / voda, ale není vyloučeno použití i vzduchových chladičů oleje. Do olejového systému se vřazují Co se týče konstrukce chladičů kde je chladicím médiem voda a dají se rozdělit na chladiče trubkové a deskové.

c) Trubkové chladiče

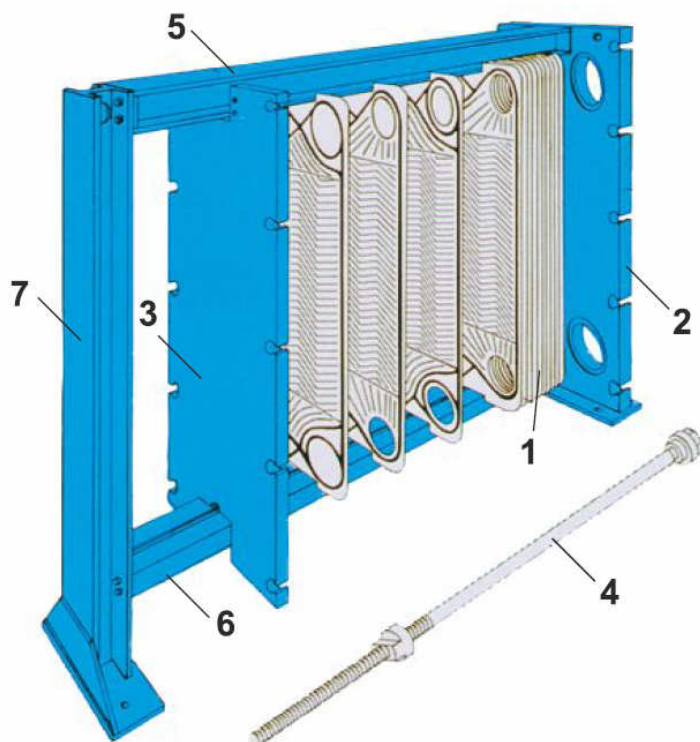
- konstrukce s přímými trubkami a demontovatelnými víky umožňuje relativně jednoduché mechanické čištění na straně chladicí vody,
- chladiče jsou v provedení jako jednotahové nebo dvoutahové. Chladicí voda proudí v trubkách a olej obtéká vnější povrch teplosměnných trubek,
- jeho použití je vhodné pro případy, kdy na chlazené straně je viskózní médium (olej) nebo mnohem vyšší průtok, než na straně chladicí (deskový výměník má oproti trubkovému přibližně stejný průtočný průřez pro obě strany),
- v klasickém provedení je náchylnější ke korozi (ocelová trubkovnice, obvykle měděné trubky a ocelový plášť).



Obrázek 22 - Trubkový chladič oleje [14]

d) Deskové chladiče rozebíratelné

- výhody oproti trubkovým výměníkům jsou kompaktnější rozměry,
- možnost dosáhnout turbulentního proudění při relativně nízkých průtocích,
- vyšší chemická odolnost (kombinace nerez a pryž),
- možnost chemického i mechanického čištění,
- skládají se z nosné konstrukce opatřené přírubami nebo šroubením pro přivedení médií, teplosměnných desek (plechů) a mezideskové těsnění.

**Struktura a základní díly:**

- 1) soubor desek
- 2) pevná deska rámu
- 3) stahovací deska rámu
- 4) stahovací šroub
- 5) vodící profil
- 6) spodní vodící profil
- 7) nosník

Obrázek 23 - Rozebíratelný deskový chladič oleje [15]**e) Deskové chladiče letované**

- všechny výhody rozebíratelného deskového výměníku kromě možnosti mechanického čištění. Chemické čištění je omezené a je nutné volit vhodné chemikálie s ohledem na pájku (letováno mědí),
- velmi příznivé ceny (v řadě aplikací se dnes používá téměř jako spotřební zboží),
- vyšší citlivost na poškození vlivem cyklického namáhání jak tlakem a změnami teplot, tak z vnějšku - např. kmitáním přípoje (únava letovaných spojů)
- letované deskové chladiče, jenž mohou mít samonosnou konstrukci a samotné zatěsnění výměníku je provedeno pájkou (měď, mosaz, cín).

Poznámka:

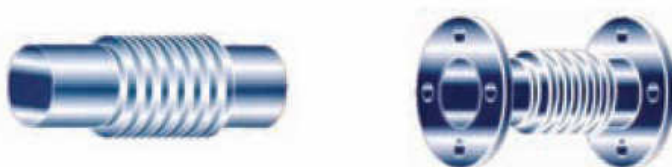
obecný problém u deskových letovaných výměníků v aplikacích, jako jsou hydraulické a mazací okruhy, je výměník součástí vibrující nebo dilatující konstrukce, proto je nutné výměník vhodně uložit na silentbloky nebo pryží vyztužené objímky a pamatovat i na vhodné připojení hadicemi nebo použitím kompenzátorů.



Obrázek 24 - Letované deskové chladiče [15]

4.2.8. Kompenzátory potrubí

Z důvodu teplotní dilatace skříně turbíny a potrubí je nutné vložit kompenzátory potrubí do přívodního olejového potrubí vedoucího do předního ložiskového stojanu. Z důvodu tuhosti odpadního potrubí a pokud je to dispozičních důvodů vyžadováno, dodává se kompenzátor i do tohoto potrubí.



Obrázek 25 - Kompenzátor potrubí, vlevo navařovací a vpravo přírubový [16]

4.2.9. Filtr mazacího oleje

Jedná se o mechanický filtr, který zachytává nečistoty, aby nedocházelo k poškození ložiskové kompozice popřípadě zcpání přítoku mazacího oleje do ložisek s následnou těžkou havárií turbosoustrojí. Jeho umístění je obvykle za chladičem oleje a je také duplexní (tj. 100% záloha) což umožňuje nepřetržitý provoz zařízení při čištění, respektive výměně filtrační vložky, kdy filtrace probíhá v druhé komoře během čištění první komory. Olejový filtr je vybaven výměnnými vložkami s jemností filtrace 25 μm a duplexním přepínáním za provozu. Tlaková ztráta filtrační vložky je 0,35 bar pro teplotu oleje 42°C. Signalizace zanesení 0,9/1,2 bar.



Obrázek 26 - Duplexní filtr oleje s výměnnou filtrační vložkou [16]

4.2.10. Odlučovač olejové mlhy

Na nádrži je umístěn odsávač olejových par, pro zabránění úniku těchto par do prostoru strojovny.



Obrázek 27 - Odlučovače olejové mlhy [17]

4.2.11. Topné těleso

V případě, že není strojovna temperovaná a může dojít k poklesu teploty ve strojovně pod cca. 20°C, musí se olej v nádrži ohřát na minimální teplotu pro spuštění olejových čerpadel. Konkrétní hodnotu minimální teploty pro spouštění olejových čerpadel, stanovuje jeho výrobce. Při konstrukci olejové nádrže, je nutné počítat dopředu s použitím přídavného topného tělesa, aby při poklesu hladiny oleje v nádrži, nedošlo k obnažení teplosměnné plochy topného tělesa!



Obrázek 28 - Ponorné topné těleso s přírubou [18]

4.2.12. Další pomocná zařízení

Za filtrem se umísťuje zpětná klapka, která zabraňuje zpětnému toku oleje při spuštění nouzového čerpadla. Před každým ložiskem jsou ještě vřazeny ruční stavitelné clony, které jsou navrhnuty a vyrobeny firmou EKOL s.r.o.

5. ZPRACOVÁNÍ POPTÁVKY PARNÍ TURBÍNY

5.1. *Poptávka parní turbíny*

Podle normy ČSN EN 60045-1 (ČSN 080030) PARNÍ TURBÍNY Část 1: Specifikace z ledna roku 1996 a dle normy DIN 4312 Průmyslové turbíny – Zásady pro konstrukci průmyslových turbín z prosince 1983, jsou stanoveny minimální údaje, které mají být uvedeny ve vypsání pro nabídku turbíny.

5.2. **ZÁKLADNÍ INFORMACE OD KUPUJÍCÍHO**

5.2.1. Charakteristika turbíny a jejího příslušenství

- a) jmenovitý výkon na svorkách generátoru, nebo na spojení turbíny,
- b) tepelná účinnost turbínového zařízení nebo měrná spotřeba tepla nebo měrná spotřeba páry,
- c) otáčky, nebo kmitočet soustavy a požadovaný rozsah provozních otáček,
- d) celkem vyžadované provozní hodiny (v průběhu kalendářního roku),
- e) podrobnosti o umístění turbíny a jakákoli fyzikální omezení,
- f) jakékoli seismické podmínky, které mají být uvažovány.

5.2.2. Parametry páry a vody

- a) jmenovitý stav páry na vstupu do každé skupiny rychlozávěrných ventilů turbíny při jmenovitém výkonu a maximální parametry páry,
- b) tlak páry v každém z výstupních hrdel parní turbíny při jmenovitém výkonu turbíny (regulované a neregulované odběry páry),
- c) tlak ve výstupním hrdle turbíny u kondenzačních turbín, pokud dodavatel turbíny nemá v rozsahu dodávky kondenzátor,
- d) pokud je požadována turbína pro provoz s přihříváním páry nebo s odběrem pro vytápění, je nutné postupovat podle článku 17.3 odstavce c) ÷ k).

5.2.3. Podmínky pro kondenzátory a chladiče

- a) zdroj a jakost chladicí látky, nebo materiál, který má být použit pro povrch výměny tepla a součinitel čistoty, který má být uvažován v projektu,
- b) maximální a minimální teploty chladicí látky a její průměrná roční teplota,
- c) jakékoli omezení dostupného hmotnostního průtoku chladicí látky, nebo jejího přípustného ohřátí,
- d) maximální a minimální tlaky na připojovacích místech systému chladicí vody a tlakový spád mezi nimi.

5.2.4. Použití – instalace a způsob provozu

- a) detaily o poháněném stroji (pokud není dodáván dodavatelem turbíny):
 - jméno výrobce,
 - úplné obrysové rozměry, styčné plochy a uložení na základ,
 - podrobné údaje o závažných charakteristických vlastnostech včetně údaje o všech normálních i nepravidelných kroutících momentech a všech osových silách i zatíženích radiálních ložisek zachycovaných turbínou,
 - nároky na pomocné služby jako je zajištění oleje a chladicí vody,
 - je-li stroj poháněn přes převodovku – otáčky výstupního hřídele,

- všechny požadavky týkající se vyvážení, vyrovnaní os, umožnění dilatace nebo jiné okolnosti, které mohou ovlivnit uspokojivý provoz sestavené jednotky,
- směr otáčení musí být dohodnut s dodavatelem turbíny.
- b) charakter zatížení turbíny a očekávaný režim a způsob provozování,
- c) počet, povaha a intenzita poruch elektrizační soustavy, vyvolávajících abnormální zvýšení kroutících momentů,
- d) důležité faktory ovlivňující provoz turbíny:
 - způsob provozování (viz. 6.1.3 ČSN EN 60045-1),
 - použití klouzavého tlaku (viz. 3.10 ČSN EN 60045-1),
 - maximální požadovaná rychlost zatěžování (viz. 6.1.3c ČSN EN 60045-1)
 - dočasné abnormální provozní podmínky (viz. 6.3.1 ČSN EN 60045-1),
 - charakteristika parního kotle (viz. 6.1.4 ČSN EN 60045-1),
 - hltlost obtokového systému turbíny (viz. 6.1.5 ČSN EN 60045-1),
- e) významné faktory ovlivňující ekonomickou optimalizaci zařízení (podrobnosti v normě ČSN EN 60045-1 článek 17.5 odstavec e),
- f) navrhovaný řídicí systém definující ty funkce, které mají být prováděny ručně z místa, nebo dálkově a ty funkce, které budou prováděny automaticky,
- g) informace uvedené v seznamu A.6 (Příloha A - ČSN EN 60045-1), jestliže je vyžadována elektronická regulace,
- h) podmínky stavby (viz 6.4 ČSN EN 60045-1),
- i) požadavky na tepelnou izolaci (viz 7.8 ČSN EN 60045-1),
- j) přípustná hladina hluku (viz kapitola 14 ČSN EN 60045-1),
- k) požadované doplňkové vybavení přístroji (viz 1.4 ČSN EN 60045-1),
- l) zda je požadováno zařízení na odlehčení ze zatížení při snížení vstupního tlaku (viz 12.4.4 ČSN EN 60045-1).

5.2.5. Základy

Je-li kupující zodpovědný za projekt základů, musí předat dodavateli turbíny v počáteční fázi projektu obrysový náčrt základu podle informací předaných jeho dodavatelem, jak je uvedeno v podkapitole „8. Zkoušky“.

5.2.6. Koncové body – připojovací místa

Stanovení hranice dodávky s vyznačením jednotlivých zařízení (provést na schéma rozsahu dodávky)

5.2.7. Podmínky dodání na staveniště

- a) místo dodání
- b) podmínky, ovlivňující dopravu a přístup na staveniště, zařízení, která jsou na staveništi k dispozici a jakékoli požadavky na prodlouženou dobu skladování

5.2.8. Zkoušky

Rozsah provozních zkoušek (viz 15.3 ČSN EN 60045-1)

5.3. INFORMACE O PROJEKTU PŘEDÁVANÉ DODAVATELEM

Dodavatel musí kupujícímu poskytnout podrobné informace o svém zařízení.

Doporučuje se, aby zahrnovaly minimálně následující informace:

- a) Pro stabilitu turbíny a pro mechanické provedení koncových bodů a soustav potrubí, musí být omezeny síly a momenty od hlavních parních potrubí. Dodavatel musí poskytnout kupujícímu dostatečné informace, které by mu dovolily navrhnout potrubní systém v souladu s těmito požadavky. Podobné informace mohou být požadovány i pro potrubí napájecí vody, jsou-li ohříváky napájecí vody, nebo podobná zařízení v rozsahu dodávky dodavatele,
- b) Tepelné dilatace koncových bodů pro významné provozní podmínky,
- c) Pro všechny potrubní přípoje k potrubnímu systému kupujícího, rozměry koncových bodů spolu s přípravou pro svar a doporučeními pro svaření, nebo pro přírubový spoj,
- d) Doporučený časový plán výměny potřebných technických informací a výkresů pro začlenění turbosoustrojí a jemu přidruženého zařízení do celkového projektu strojního zařízení,
- e) Požadavky na stav a hmotnostní průtok pomocné páry pro těsnění ucpávek při spouštění turbíny,
- f) Informace o základech turbosoustrojí, jak je podrobně uvedeno v kapitole 8.

5.3.1. Turbínové zařízení s regeneračním ohřevem napájecí vody

Turbíny pro výrobu elektrické energie jsou obvykle uzpůsobeny pro regenerační ohřev napájecí vody. Základ tohoto uspořádání (viz kapitola 4) a důležité podrobnosti, které jsou uvedeny v odstavci 19 normy ČSN EN 60045-1 musí být dohodnuty mezi kupujícím a dodavatelem pro jedno, nebo více specifických zatížení.

Podle normy DIN 4312 mají být všechny informace potřebné pro poptávku a nabídku uvedeny v údajových listech průmyslových turbín číslo 1101 (viz DIN 4312 odstavec 14.) [6]

5.4. Nabídka parní turbíny

Po jednání se zákazníkem, byla nabídnuta parní kondenzační turbína s jedním regulovaným odběrem páry a jedním neregulovaným odběrem pro regenerační ohřev kondenzátu. V dodávce bude turbína s převodovkou umístěné na ocelovém rámu, který je umístěn na vyvýšeném základu, převodovka s čelním ozubením a vysokou účinností, synchronní generátor AVK typ DIG 156 n/4W s výměníkem tepla vzduch/voda, vodní kondenzátor umístěný vedle turbíny na podlaží $\pm 0,000\text{m}$, kondenzační čerpadla (2 x 100%), dvoustupňová paroproudá vývěva (PPV), kondenzátor ucpávkové páry (KUP) a najížděcí ejektor, nízkotlaký regenerační ohřívák (NTO) s deskovým dochlazovačem kondenzátu, odvodnění turbíny včetně parovodů v budově strojovny, kompletní mazací a vysokotlaký hydraulický systém turbosoustrojí a dále všechny armatury a potrubí, které je dodávce až po vyznačené hranice dodávky vyznačené na tepelném schématu.

5.5. Předmět nabídky- technická specifikace

5.5.1. Turbína T5,6 – 3,8/0,3

Parní kondenzační turbína s jedním regulovaným odběrem pro topný výměník, který slouží pro ohřev a vytápění města. Turbína je konstrukčně navržena jako vysokootáčková, jednotělesová s horizontálně dělenou skříní a nosiči satorových lopatek. Za druhým nosičem lopatek je proveden regulovaný odběr páry.

Tlak v odběru je regulován pomocí regulační clony. V místě za čtvrtým nosičem je skříň dělena i vertikálním přírubovým spojem, který zajišťuje spojení vysokotlakové části a výstupního hrdla. Vstupní část turbíny je řešena jako ventilová komora se třemi VT regulačními ventily, která je na těleso turbínové skříně připojena svarovým spojem. Na ventilovou komoru je přivařeno těleso rychlozávěrného ventilu.

Výstupní hrdlo je provedeno jako svarek. Lopatky jsou navrženy jako přetlakové s akčním regulačním stupněm. Celo-kovaný rotor je uložen v tlakově mazaných kluzných radiálních ložiskách. Turbína je vybavena odlehčovacím pístem s labyrintovým těsněním. Zbytek nevyvážené osově síly od průtoku páry turbínou je zachycen oboustranným axiálním ložiskem s naklápěcími segmenty. Rotor je dynamicky vyvážen, odstředěn a jeho kritické otáčky jsou dostatečně vzdáleny od otáček provozních. Uložení turbínové skříně s ložiskovým stojanem umožňuje provozní bezpečnost a axiální posuv turbíny způsobený teplotní dilatací.

5.5.2. Rychlozávěrný ventil

Rychlozávěrný ventil slouží jako hlavní ochrana turbíny při poruchách provozu turbosoustrojí. V případě poruchy a zásahu kterékoliv z ochran dojde pomocí elektronického signálu přes magnetický ventil k přerušení dodávky vysokotlakového oleje, k jeho vypuštění z prostoru válce a pružina uzavře kuželku ventilu. Tím se uzavře přívod páry do turbíny a turbína je odstavena z provozu. Stejným signálem jsou uzavřeny i regulační ventily a zpětné odběrové klapky odběrů.

5.5.3. VT regulační ventily

Regulace páry proudící do turbíny se provádí pomocí regulačních ventilů ovládaných vysokotlakovými servopohony. Servopohon mění polohu pomocí impulsů z elektro-hydraulického převodníku řízeného mikroprocesorovým regulátorem. Vlastní ventily jsou provedeny jako škrťací, s odlehčenou regulační kuželkou a difuzorem. Utěsnění vnitřního prostoru v místě zvedacích vřeten je provedeno

měkkou ucpávkou. Z prostoru ucpávky je přebytečná pára odsávána do kondenzátoru ucpávkové páry. Celá regulace je navržena tak, aby docházelo během provozu k minimálnímu škrcení v jednotlivých ventilech a tak mohlo být využito maximální účinnosti parního cyklu.

5.5.4. NT regulační clona

Regulační clona mezi VT částí turbíny a NT částí turbíny, slouží k regulaci tlaku páry v regulovaném odběru. Clona je zabudována v III. nosiči. K nosiči lopatek je pevná část clony přišroubována a pohyblivá část regulační clony je ovládána jedním servopohonem, který mění polohu pomocí impulsů z elektro-hydraulického převodníku, řízeného mikroprocesorovým regulátorem.

Obě poloviny regulační clony jsou spolu spojeny v dělicí rovině přírubou se šrouby a maticemi. Na pevné části clony je provedena statorová část vnitřní ucpávky, která odděluje VT prostor od prostoru NT části lopatkování.

5.5.5. Parametry turbíny

Maximální elektrický výkon turbíny	5601 kW
Elektrický výkon turbíny v provozním stavu 1	3012,5 kW

Parametry páry:

Vstupní	tlak	p_o	38 bar(a)
	teplota	t_o	400°C
	množství	m_o	24 t/h
regulovaný odběr	tlak	p_E	3 bar(a)
	teplota	t_E	171,3°C
	množství	m_E	2 t/h
			($m_{E_{max}}$ 18 t/h)
neregulovaný odběr	tlak	p_E	0,545 bar(a)
	teplota	t_E	83,5°C
	množství	m_E	1,43 t/h
výstupní	tlak	$p_2 (K)$	0,085 bar(a)
	teplota	$t_2 (K)$	42,3°C
	množství	$m_2 (K)$	22,14 t/h
Otáčky turbíny		n	8534,5 min ⁻¹

Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od okraje 85 dB (A)
Turbína bude dodána podle EN 60045 -1 pro parní turbíny.

5.5.6. Generátor

typ	AVK DIG 156 n/4W
svorkový výkon	7840 kVA
svorkové napětí	6,3 kV ($\pm 5\%$)
jmenovitý proud	718 A
při $\cos\varphi$	0,8
frekvence sítě	50 Hz
počet pólů	4
jmenovité otáčky stroje	1500 min ⁻¹
účinnost stroje	při $\cos\varphi$ 0,8 97,29 %
	při $\cos\varphi$ = 1 97,88 %
krytí	IP54
hmotnost včetně budiče	~ 22500 kg
<u>chladič generátoru:</u>	
jmenovitý výkon chladiče	2 x 67% max. ztrátového výkonu
vstupní teplota chladicího média	30°C
chladicí médium	voda (max. 40 % _{hm} podíl glykolu)
tlak chladicího média	6 bar(g) (zkušební 9bar(g))
připojovací hrdla	4 x DN80 / PN16
<u>mazání generátoru:</u>	
připojovací rozměry	DN40-PN16 / DN65/PN16
typ mazacího oleje	ISO VG 46
vstupní teplota	max. 55°C
vstupní tlak	min. 0,3 bar(g)
výstupní tlak	0 bar(g) – samospádem
ztrátový výkon ložisek	11 kW

Součástí generátoru je jeho kompletní výzbroj pro měření a regulaci jako jsou měřicí transformátory, čidla teploty (PT100) ložisek, chladicího (cirkulujícího) vzduchu a satorového vinutí generátoru.



Obrázek 29 - Synchronní generátor [19]

5.5.7. Převodovka

typ	Flender TX56/5C
druh převodovky	jednostupňová
převodový poměr	8534,5 / 1500 min ⁻¹
soukolí	přímé se šikmým ozubením
celková hmotnost	3577 kg
<u>mazání převodovky:</u>	
připojovací rozměry	DN50-PN16 / DN200/PN16
typ mazacího oleje	ISO VG 46
vstupní teplota	max. 60°C
vstupní tlak	min. 1,5 bar(g)
výstupní tlak	0 bar(g) – samospádem
průtok oleje	130 ltr·min ⁻¹
typický ztrátový výkon	90,3 kW

Součástí převodovky jsou teplotní čidla (PT100).

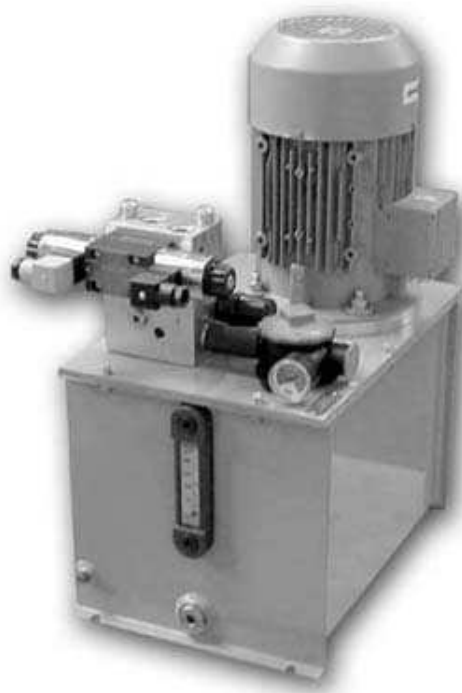
5.5.8. Olejové hospodářství

Olejové hospodářství je rozděleno na nízkotlakou mazací sekci a na sekci regulačního vysokotlakého oleje.

5.5.9. Vysokotlaký regulační olej

Sekce vysokotlakového regulačního oleje je jako samostatný blok s čerpadlem 2 x 100% s možností záskoku. Blok je vybaven filtry 2 x 100% s možností přepínání za provozu a hydraulickým akumulátorem, který slouží pro překlenutí doby záskoku čerpadel. V této době nesmí dojít k poklesu tlaku regulačního oleje.

Jednotka vysokotlaké hydraulické regulace bude dodána jako kompletní řešení přímo od výrobce.



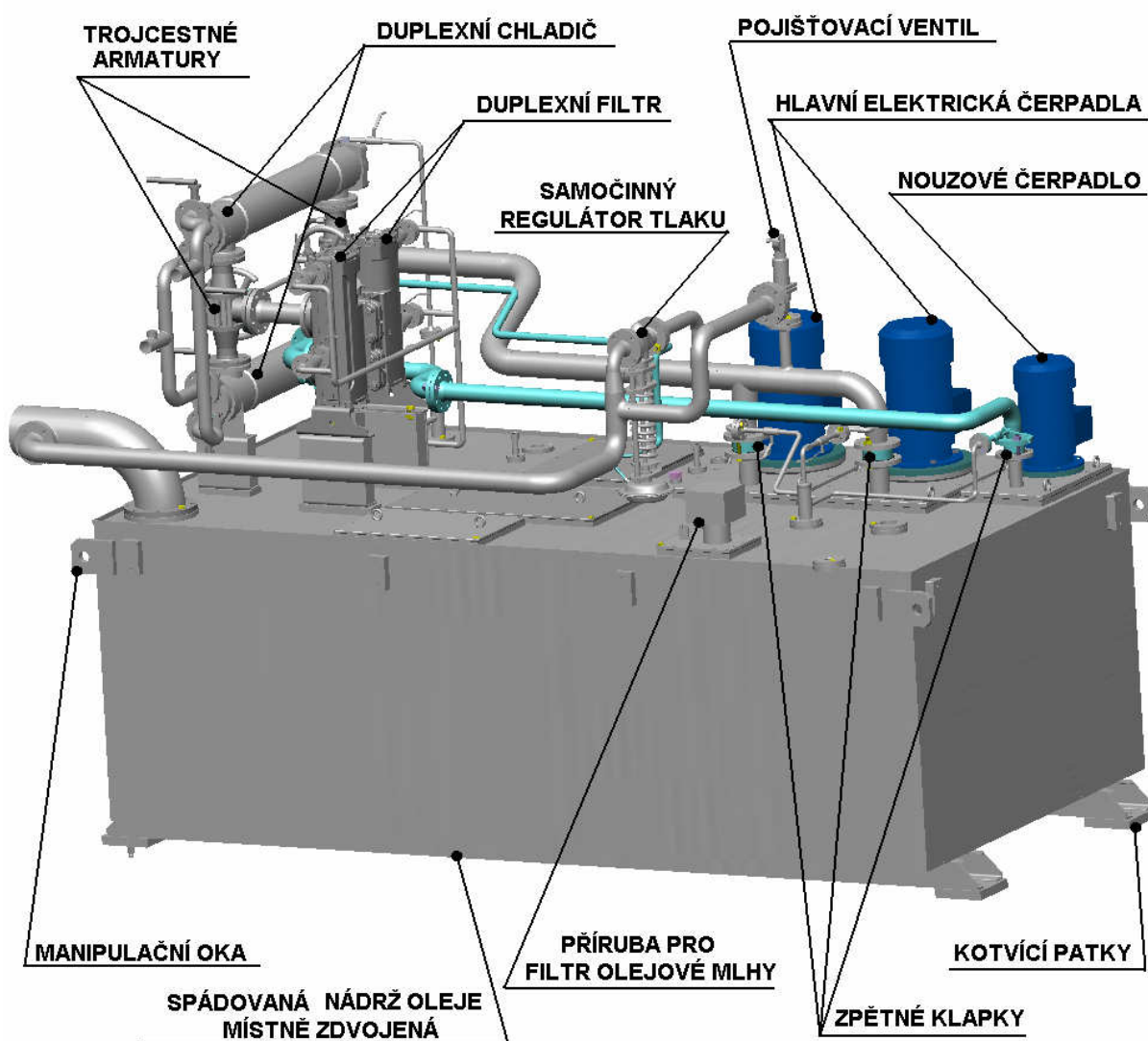
Obrázek 30 - Agregát vysokotlaké hydraulické regulace [20]

5.5.10. Mazací olej

Sekce mazacího oleje se skládá z olejové nádrže, která je provedena jako blok a je umístěna na na podlaží $\pm 0,000$ m. Dvě hlavní elektrická olejová čerpadla s možností záskoku při poruše jednoho z nich, jsou umístěna na víku olejové nádrže a jsou poháněna třífázovým asynchronním motorem. Nouzové olejové čerpadlo je napájeno stejnosměrným proudem a je také umístěno na víku olejové nádrže.

Nouzové čerpadlo slouží při poruše hlavních čerpadel, pro bezpečný doběh turbosoustrojí. Na víku olejové nádrže je dále umístěno zařízení na odsávání olejových par, které zabraňuje úniku olejových par do prostoru strojovny a zároveň vytváří mírný podtlak v nádrži.

Na olejové nádrži v úrovni +1,300 m jsou umístěny dva olejové chladiče a dva olejové filtry. Obě komponenty jsou v duplexním provedení (2 x 100%) s možností přepínání jednotlivých komponentů za provozu turbosoustrojí (při poruše, případně při znečištění jednoho z dvojice komponentů) bez přerušení dodávky oleje.



Obrázek 31 - Popis zařízení na olejové nádrži [Ekol s.r.o.]

5.6. Návrh mazacího systému

Před návrhem mazacího olejového systému je nutné znát alespoň přibližné parametry pro dodávané zařízení. Je nutné pokrýt spotřebu oleje pro mazání a chlazení radiálních ložisek turbíny včetně axiálního ložiska, které bývá výrazně zatíženo, dále množství oleje pro mazání a chlazení převodovky a generátoru. Spotřebu mazacího oleje pro převodovku a generátor je známo od výrobce.

Pro učení spotřeby mazacího oleje u turbíny, je nutné znát konstrukci ložisek. U nabízené turbíny bude použito radiálních ložisek se čtyřmi naklápěcími segmenty a průměrem hřídele $\varnothing 120$ mm. Problematika výpočtu hydrodynamických ložisek je značně rozsáhlá a na tomto místě mohu odkázat na zdroj [24], ze kterého budu vycházet [25], protože se jedná o typizovanou turbínu s podobným výkonem a stejnými ložisky, které budou použity i u této nabídky. Skutečná spotřeba oleje ložisek závisí také na uložení ložisek a kritikách rotoru, kdy bude nutné provést (nechat zadat) výpočet kritik rotoru včetně vůle v uložení ložisek a tím spotřebu mazacího oleje, proto počítám s rezervou 20%, která se v praxi osvědčila.

tabulka 3 - Požadavky mazacího oleje pro zařízení [Ekol s.r.o.]

ZAŘÍZENÍ	LOŽISKO	POŽADOVANÉ MNOŽSTVÍ OLEJE (ltr·min ⁻¹)	POŽADOVANÝ TLAK OLEJE (bar(g))	VÝKONOVÁ ZTRÁTA (kW)
TURBÍNA	PŘEDNÍ RADIÁLNÍ	30	1,5	12
	ZADNÍ RADIÁLNÍ	30	1,5	10
	AXIÁLNÍ	95	1,5	65
PŘEVODOVKA	CELEK	130	1,5	90,3
GENERÁTOR	PŘEDNÍ RADIÁLNÍ	12	1,5	5,5
	ZADNÍ RADIÁLNÍ	12	1,5	5,5
CELKEM	-	309	-	188,3
CELKEM S REZERVOU 120%	-	371	-	226

5.7. Typizace zařízení pro mazací systém

Nyní je zapotřebí vytypovat zařízení, která budou v mazacím okruhu a v budoucí zakázce je podle těchto parametrů následně poptat u výrobců zařízení. Připojení zařízení je provedeno výhradně pomocí přírub.

5.7.1. Hlavní olejová čerpadla (HOČ)

V mazacím systému budou použity dvě HOČ poháněné asynchronním elektromotorem, s následujícími parametry:

Teplota oleje	60°C (min. 20°C)
Minimální množství oleje	370 ltr·min ⁻¹
Tlak na výtlaku čerpadla max.	6 bar (g)
Hustota oleje (TB-46)	820 ÷ 870 kg·m ³
Kin.viskozita oleje (TB-46)	18 ÷ 23 mm ² ·s ⁻¹
Asynchronní motor	3 x 400V, 50Hz, IP54
Rozteč šroubů pro montáž čerpadla na přírubě:	ø350 mm
Sání v hloubce	cca 850 mm
<u>Čerpadlo bude v provozu nepřetržitě!</u>	

5.7.2. Nouzové olejové čerpadlo

V mazacím systému bude použito jedno nouzové olejové čerpadlo, poháněné stejnosměrným elektromotorem, který bude v případě výpadku dodávky elektrické energie do sítě, poháněn z akumulátorovny, aby byl umožněn bezpečný doběh turbosoustrojí! Nouzové čerpadlo se navrhuje na 60% až 70% jmenovitého množství, které dodává HOČ a minimální tlak potřebný pro ještě správnou funkci mazání zařízení. Nouzové čerpadlo se zapojuje do větve za zpětnou klapku u filtrů oleje. Výtlak nouzového čerpadla není chlazen a je filtrován pouze sacím košem čerpadla!

Nouzové čerpadlo bude mít následujícími parametry:

Teplota oleje	60°C (min. 20°C)
Minimální množství oleje	260 ltr·min ⁻¹
Tlak na výtlaku čerpadla max.	3,5 bar (g)
Hustota oleje (TB-46)	820 ÷ 870 kg·m ³
Kin.viskozita oleje (TB-46)	18 ÷ 23 mm ² ·s ⁻¹
Asynchronní motor	3 x 400V, 50Hz, IP54
Rozteč šroubů pro montáž čerpadla na přírubě:	ø350 mm
Sání v hloubce	cca 850 mm
<u>Čerpadlo bude v provozu pouze výjimečně (max. 3 hodiny nepřetržitého provozu).</u>	

5.7.3. Chladiče oleje

Ztrátový výkon z turbíny, převodovky a generátoru odevzdaný do mazacího oleje je zapotřebí odvést, chladičem oleje, chlazený vodou v duplexním zapojení (100% záloha). Pro tuto nabídku bude použit trubkový dvoucestný chladič oleje. Množství oleje protékající chladičem je nižší o množství, které přepouští regulátor tlaku, je tedy počítáno se množstvím oleje bez rezervy. Regulace výkonu chladiče automaticky množstvím chladicí vody tak, aby teplota oleje za chladičem byla v rozmezí 41 ÷ 45°C.

Chladič oleje je navržen na parametry:

Tepelný výkon, který potřebujeme vychladit	226 kW
Množství oleje	309 ltr·min ⁻¹
Hustota oleje (TB-46)	820 ÷ 870 kg·m ³
Kin.viskozita oleje (TB-46)	18 ÷ 23 mm ² ·s ⁻¹
Vstupní teplota oleje do chladiče – provozní	z výpočtu (max. 60°C)
Výstupní teplota z chladiče	43°C
Tlak oleje nastavený na pojišťovacím ventilu	10 bar (g)
Pracovní přetlak	asi 6 bar (g)
Tlaková ztráta na straně oleje	cca. 0,5 bar
Vstupní teplota chladicí vody	28°C
Oteplení na straně vody Δt	6°C
Konstrukční přetlak vody	10 bar (g)
Tlaková ztráta na straně vody	0,5 bar
Připojovací příruby na straně vody	DN80 / PN16
Připojovací příruby na straně oleje	minimálně DN50 / PN16

5.7.4. Regulátor tlaku

Skutečné požadované množství mazacího oleje, které je požadováno od turbosoustrojí, je různé od množství dodávané olejovými čerpadly. Čerpadla jsou navržena tak, aby dodávaly větší množství mazacího oleje, než jaké požaduje turbosoustrojí. Tento vzniklý přebytek oleje je zapotřebí odvést pomocí samočinného regulátoru tlaku. Regulátor tlaku je navrhnout tak, aby kontinuálně odváděl množství oleje při zdvihu kuželky minimálně 5%. Pod tento minimální zdvih kuželky, nastává nestabilita regulace a není vyloučen vznik tlakových pulsací. Pro návrh regulačního ventilu je možné použít výpočetní software, jehož použití je bezplatné [26].

Zadané parametry pro samočinný regulátor tlaku oleje:

Podtlak v olejové nádrži	cca. 150 mbar
Teplota odpouštěného oleje	20 ÷ 60°C
Tlak oleje ze kterého bude ventil odpouštět	cca. 6 bar (g)
Impuls pro regulační ventil	2,5 ÷ 3,5 bar (g)
Minimální odpouštěné množství oleje	15 ltr·min ⁻¹
- zdvih kuželky	min. 5%
Kontinuální odpouštění oleje za provozu	61 ltr·min ⁻¹
- zdvih kuželky	cca. 60 ÷ 70%

5.7.5. Pojišťovací ventil

Při náhlé poruše v mazacím olejovém systému (spečené kontakty stykače čerpadel, zaseknutý regulátor tlaku, zacpaný filtr nebo chladič oleje apod.), by mohlo dojít k překročení maximálního konstrukčního přetlaku, proto je nutné zařadit do systému pojišťovací ventil, pokud možno co nejbližše hlavním olejovým čerpadlům.

Zadané parametry pro pojišťovací ventil:

Maximální možný průtok ventilem	740 ltr·min ⁻¹
Tlak nastavený na ventilu	10 bar (g)
Tlak za ventilem	0 bar (g)
Teplota přepouštěného oleje	20 ÷ 60°C

5.7.6. Filtr oleje

Má za úkol odstranit z mazacího oleje nečistoty, které se dostaly za sací koš čerpadel. Filtrační schopnost se volí s filtrační schopností v rozmezí 10 ÷ 25 µm. Provedení filtru je duplexní (100% záloha), aby bylo možné vyměnit filtrační vložku bez odstavení turbosoustrojí. Signalizace zanesení filtrů musí být místní i dálková.

Zadané parametry pro filtr oleje:

Duplexní provedení – připojovací příruby	DN80 / PN16
Množství oleje	309 ltr·min ⁻¹
Provozní teplota oleje	45°C (min. 20°C)
Konstrukční přetlak	16 bar (g)
Filtrační schopnost	10 µm, 90%
Signalizace zanesení filtrů	70 a 100% místní i dálková

5.7.7. Další pomocná zařízení

Mezi další pomocná zařízení lze zařadit odsavač olejových par, který zabraňuje úniku olejové mlhy do prostoru strojovny. Dále to může být topné těleso umístěné v nádrži pokud strojovna není v chladných měsících temperovaná nebo i pomocné čerpadlo pro napouštění a vypouštění popřípadě regeneraci oleje.

5.7.8. Potrubí a armatury

Světlost a materiál potrubí se navrhuje dle následujících pravidel:

- a) všechna výtlačná potrubí (nouzové čerpadlo je výjimkou) až po filtr oleje jsou vyrobena z běžné konstrukční oceli třídy 11 se zaručenou svařitelností. Rychlost proudění oleje v těchto potrubí se volí 1 až 1,5 m·s⁻¹,
- b) potrubí od filtru oleje směrem k zařízení, včetně potrubí z výtlačku nouzového čerpadla jsou vyrobena z nerezové oceli třídy 17. Rychlost proudění oleje v těchto potrubí se volí 1 až 1,5 m·s⁻¹,
- c) všechna odpadní (tj. výstupní) potrubí jsou od zařízení až po olejovou nádrž a potrubí pro sání olejových čerpadel, z běžné konstrukční oceli třídy 11 se zaručenou svařitelností. Rychlost proudění oleje v potrubí se volí do 0,5 m·s⁻¹,
- d) potrubí vyhrazené pro pojišťovací ventil může být navrženo pro rychlost vyšší (řádově jednotky m·s⁻¹),
- e) světlost armatur se volí dle potrubí ke kterému (ve kterém) jsou připojeny,
- f) výtlačk čerpadel, příruby chladičů oleje (třicestných armatur) a připojovací hrdla na turbínu, převodovce a generátoru je zapotřebí zredukovat na danou světlost připojeného potrubí,
- g) je vhodné upřednostňovat svarová a přírubová spojení před spojením pomocí šroubení,
- h) všechny ručně ovládané armatury je vhodné vybavit aretací v krajních polohách, aby bylo vyloučeno náhodné uzavření (otevření) armatury!

Výpočet rychlosti oleje v potrubí:
$$v = \frac{\dot{Q}}{6 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\pi \cdot (D_0 - 2 \cdot t)^2}{4}} = [m \cdot s^{-1}]$$

5.8. Schéma mazacího oleje – popis

Mazací olej je shromážděn v nádrži MAV10_BB010 o obsahu 5600 litrů oleje (15 minutový doběh turbosoustrojí při těžké havárii mazacího systému) odkud čerpán přes sací koše MAV10_AA510, MAV20_AA510 hlavními olejovými čerpadly MAV10_AP110, MAV20_AP110. Za těmito čerpadly jsou umístěné zpětné klapky MAV10_AA511, MAV20_AA511, které brání zpětnému toku mazacího oleje při běhu jednoho z nich. Na potrubí MAV20_BR020 je napojen pojišťovací ventil MAV20_AA320, poté samočinný regulátor tlaku MAV20_AA220 a konec potrubí je připojen na třicestnou armaturu MAV20_AA530.

Od této armatury vede olej přes chladič oleje MAV20_AC010 nebo MAV20_AC020 a poté do druhé třicestné armatury MAV30_AA510. Obě třicestné armatury jsou mechanicky spřaženy, aby nedošlo k chybnému přepnutí chladičů a tím uzavření přívodu mazacího oleje. Od třicestné armatury MAV30_AA510 vede vychlazený olej do mechanického filtru MAV30_AT020 v duplexním provedení s integrovanými třicestnými armaturami.

Vyfiltrovaný a vychlazený olej vede dále přes zpětnou klapku MAV30_AA520 do rozváděcího potrubí MAV40_BR010 a odtud dále do předního ložiskového stojanu turbíny MAA10 přes kompenzátor MAV40_AA940 a škrťací regulovatelnou clonu MAV40_AA540 do axiálního ložiska. Na potrubí MAV40_BR040 je provedena odbočka MAV40_BR041, která přes regulovatelnou clonu MAV40_AA541 zásobuje přední radiální ložisko turbíny. Dále je z potrubí MAV40_BR010 provedena další odbočka MAV40_BR050 s regulovatelnou clonou MAV40_AA550 pro mazání radiálního ložiska turbíny umístěné na zadním ložiskovém stojanu.

Před koncem potrubí MAV40_BR010, které je následně zredukováno na potrubí MAV40_BR020, je provedena odbočka pro mazání převodovky potrubím MAV40_BR060 přes regulovatelnou clonu MAV40_AA560. Z potrubí MAV40_BR020 je odbočka pro mazání předního ložiska generátoru. Potrubí MAV40_BR020 je zredukováno na MAV40_BR030 zásobující zadní ložisko generátoru přes regulovatelnou clonu MAV40_AA430.

Odpadní olej je odveden z generátoru MKA10 pomocí potrubí MAV50_BR050 a MAV50_BR040 přes průhledítka MAV50_AA950 a MAV50_AA940 do sběrného potrubí MAV50_BR060. Toto potrubí je zredukováno na MAV50_BR070, které je vyspádováno zpět do nádrže MAV10_BB010. Do tohoto potrubí jsou svedena potrubí MAV50_BR030 z převodovky a z turbíny MAV50_BR020 a MAV50_BR010, přes průhledítka MAV50_AA930, MAV50_AA920 a MAV50_AA910.

Do potrubní větve MAV40_BR010 je zavedena větev MAV40_BR080, která slouží pro zásobování turbosoustrojí nouzovým čerpadlem MAV40_AP180 přes zpětnou klapku MAV40_AA581 a dále je z potrubní větve MAV40_BR010 přivedeno impulsní potrubí pro samočinný regulátor tlaku MAV20_AA220. Odpadní větev MAV50_BR080 z tohoto regulátoru tlaku je zredukována na MAV50_BR090, kde je napojen pojišťovací ventil MAV20_AA320. Potrubní větev MAV50_BR090 je pak vyspádována do odpadní větve MAV50_BR070.

5.9. Návrh tepelného schématu

5.9.1. Vstupní parovod (LBA10_BR010)

Vstupní parovod LBA10_BR010 je vybaven hlavní uzavírací armaturou (HUA) LBA10_AA110 a obtokovou větví s uzavírací armaturou LBA10_AA120 a regulační armaturou LBA10_AA210. Parovod musí být vybaven měřením teploty LBA10_CT001, měřením tlaku LBA10_CP001 a měřením průtoku páry LBA10_CF001, které je realizováno Venturiho trubicí. Celý parovod je zakončen slepým ramenem, které je odvodněno a ještě před tímto ohybem je provedena odbočka pro páru vstupující do turbíny. Vstupní pára jde dále do rychlozávěrného ventilu (RZV) MAA10_AA910, poté do komory s tří-dýzovou regulací MAA10_AA911 s trámcovým pohonem.

5.9.2. Zahlcení ucpávek (LBW10_BR010)

Zahlcení ucpávek je provedeno odbočkou LBW10_BR010 přes ruční uzavírací armaturu LBW10_AA010, z parního potrubí LBD10_BR020, které je pod stálým tlakem i při odstavené turbíně. Regulace tlaku v ucpávkách (1,3 bar(a)) je zajištěno samočinným regulátorem tlaku LBW10_AA210, před kterým je ještě vřazena uzavírací armatura LBW10_AA110 s elektropohonem.

5.9.3. Odsávání ucpávek (MAM10_BR010)

Odsávání ucpávek je provedeno potrubím MAM10_BR010 z přední i zadní ucpávky a v polovině délky tohoto potrubí je odbočka pro potrubí MAM10_BR020 vedoucí do kondenzátoru ucpávkové páry (KUP) MAV10_AC010, přes uzavírací armaturu MAM10_AA010 vybavenou vlnovcem. Kondenzát vzniklý v KUP je odveden přes odvaděč kondenzátu do nízkotlaké sběrnice (NTS) MAL20_BR010. KUP je vybaven odtahovým ventilátorem MAW10_AN110.

5.9.4. Regulovaný odběr (LBD10_BR010)

Regulovaný odběr turbíny slouží pro topný výměník, který zásobuje město teplem. Odběr páry z turbíny je proveden za druhým nosičem lopatek potrubím LBW10_BR010, je zde provedeno měření teplota a tlaku, a je zakončeno zpětnou odběrovou klapkou LBD10_AA510 a uzavírací armaturou LBD10_AA110. Samotná regulace tlaku v odběru je řešena otočnou regulační clonou, která je umístěna v turbíně na třetím nosiči statorových lopatek. Za uzavírací armaturou je pára vedena potrubím LBD10_BR020, které je vybaveno měřením průtoku.

5.9.5. Neregulovaný odběr (LBS10_BR010) pro regenerační nízkotlaký ohřívák (NTO)

Odběr páry z turbíny je realizován za třetím nosičem lopatek potrubím LBS10_BR010 a pára do NTO je vedena přes zpětnou odběrovou klapku LBS10_AA510 a regulační armaturu LCC10_AA010. Protože je NTO klasifikován jako tlaková nádoba, musí být vybaven pojišťovacím ventilem LCC10_AA320 na straně kondenzátu vedoucího do napájecí nádrže a LCC10_AA310 na straně parní. Zkondenzovaná pára se odtéká přes odvaděč kondenzátu LVM60_AA510 a přes dochlazovač kondenzátu LCC20_AC020 a odtud dále do pomocného expandéru LCM20_BB010. Odvod brýdových par z NTO je zajištěno potrubím LCJ10_BR010 s clonou o Ø3 mm taktéž do pomocného expandéru.

5.9.6. By-pass turbíny (LBH10_BR010)

Vstup páry pro by-pass (obtok) turbíny je realizován potrubím LBH10_BR010 napojeným na parní rozdělovač zákazníka. Redukční ventil LBH10_AA303 je vybaven vstupem tlakové vody pro zástřik přehřáté páry. Zredukováná pára je dále vedena potrubím LBH10_BR020 do vstupního hrdla kondenzátoru MAG10_AC010. Kondenzátor není konstruován pro trvalý provoz by-passu!

5.9.7. Paroproudé vývěvy a najížděcí ejektor (MAJ10_BR010)

V této nabídce parní turbíny bude použita dvoustupňová paroproudá vývěva MAJ10_BN010, do které je přivedena přehřátá armaturou MAJ10_AA020. Kvůli netěsnostem vakuového systému, je paroproudá vývěva konstruována pro trvalý provoz. Před najetím kondenzační turbín, je zapotřebí vytvořit vakuum v parním systému, výkon paroproudé vývěvy MAJ10_AA020 je malý a pro počáteční odsávání vzduchu z vakuovaného systému je zapotřebí najížděcího ejektoru MAJ20_BN010, který je připojen na potrubí MAJ10_BR010 a ovládán ručně uzavírací armaturou MAJ20_AA010.

Výfuk parovodu směsí z najížděcího ejektoru je zaveden do potrubí LBU10_BR010, které vyúsťuje na střeše strojovny. Výfukové potrubí paroproudé vývěvy MAJ10_BN010 a rovněž KUP MAW10_AC010 vyúsťuje do prostoru strojovny, aby bylo možné kontrolovat jejich správnou funkci.

5.9.8. Kondenzátní systém turbíny

Kondenzátor MAG10_AC010 je doplňován vodou z chemické úpravy vody (CHÚV) přes armaturu MAG10_AA640. Z kondenzátoru je odčerpávána kondenzát kondenzátními čerpadly LCA10_AP110 nebo LCA20_AP110, tj. jsou ve 100% záloze. Napájení těchto čerpadel bude třífázovými asynchronními elektromotory, řízené frekvenčním měničem. Tato čerpadla jsou tedy konstruována pro trvalý provoz. Před čerpadly jsou uzavírací kohouty LCA10_AA010 a LCA20_AA010 a za čerpadly jsou zpětné klapky LCA10_AA520 a LCA20_AA520 a za nimi pak uzavírací armatury s elektropohonem LCA10_AA110 a LCA20_AA110.

Kondenzátní čerpadla pracují s vodou na mezi sytosti a je tedy nezbytné dodržet NPSH kondenzátních čerpadel (1,3 m) s rezervou dané výrobcem (0,5 m) a připočítat hydraulickou ztrátu v potrubní trase až po hrdla čerpadel (0,7 m). Výtlak kondenzátních čerpadel bude 5,5 bar(a) a průtok $32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při kmitočtu frekvenčního měniče 50Hz.

Protože turbína bude dispozičně na vyvýšeném podlaží +0,850 m, je nutné vyhloubit jámu, ve které budou umístěna obě kondenzátní čerpadla, Nízkotlaká sběrnice s odvaděči kondenzátu a přidruženými armaturami a pomocná sběrná kondenzátní nádrž LCM20_BB010, ze které je kondenzát vytlačován čerpadly LCM31_AP010 nebo LCM32_AP010 do barometrické trubice kondenzátoru MAG10_AC010. Tyto čerpadla nebudou v trvalém provozu, ale budou přepouštět nashromážděný kondenzát cyklicky, v závislost na výšce hladiny v nádrži.

Za výtlakem (LCA30_BR010) kondenzátních čerpadel LCA10_AA110 a LCA20_AA110 je zapojena paroproudá vývěva MAJ10_BN010 s obtokem pomocí ručně uzavíratelných klapek MAJ10_AA050, MAJ10_AA060, MAJ10_AA070 a za paroproudou vývěvou (LCA30_BR020) je zapojen KUP MAW10 AC010 rovněž s obtokem pomocí uzavíratelných klapek MAW10_AA010, MAW10_AA020, MAW10_AA030. Všechny výše uvedené uzavíratelné klapky musí být vybaveny aretací v krajních polohách, proti náhodnému zavření (otevření) klapek!

Kondenzát proudící v potrubní větvi LCA30_BR030 se dostává přes ruční uzavírací klapku LCC20_AA010 do dochlazovače kondenzátu LCC20_AC010, který má obtok pomocí klapky LCC20_AA030 a kondenzát vystupuje z dochlazovače přes klapku LCC20_AA020 potrubím LCA30_BR040 a vstupuje přes klapku LCC10_AA040 do regeneračního nízkotlakého ohříváku LCC10_AC010. Ohřátý kondenzát opouští NTO LCC10_AC010 přes klapku LCC10_AA060 potrubím LCC10_BR010 prostor strojovny směrem do napájecí nádrže. Napájecí nádrž včetně odplynění nebude v dodávce parní turbíny.

5.9.9. Okruh chladicí vody

Chladicí voda bude čerpána z povrchového zdroje (vodní nádrž) a bude použito mokré chladicí věže. Vstupní potrubí chladicí vody PAB10_BR010 a výstupní potrubí chladicí vody PAB20_BR010 bude přivedeno do strojovny až k uzavíracím armaturám PAB10_AA010 a PAB20_AA010 připojené přes kompenzátory PAB10_AA510 a PAB20_AA510 ke kondenzátoru MAG10_AC010.

Protože je zdrojem chladicího média povrchová voda, je vhodné pro okruh chladiče generátoru MAK10_AC010, chladiče vysokotlakého oleje MAX10_AC010, MAX10_AC020 a chladiče nízkotlakého oleje MAV20_AC010, MAV20_AC020 vybavit dodatečným filtrováním chladicí vody. Chladicí voda proudí přes duplexní zapojení filtrů PCM10_AA510 nebo PCM10_AA520. Pomocí armatur PCM10_AA010, PCM10_AA030 nebo PCM10_AA050, PCM10_AA060 lze přepínat mezi těmito filtry aby bylo umožněno jejich čištění. Pro pokrytí tlakové ztráty vzniklé na filtrech PCM10_AA510 a PCM10_AA520 je třeba ještě vřadit čerpadlo PCM10_AP110.



Obrázek 32 - Průmyslová chladicí věž [21]

5.10. Dovolené síly a momenty na jednotlivých hrdlech turbíny

5.10.1. Přírubové spoje

Pro přírubové spoje stejně tak pro hrdla trubek jsou potřebné údaje uvedeny v tabulce číslo 4. Jestliže nemohou být hodnoty dodrženy, musí být příruba přepočítána následovně dle ČSN EN 13480-3 a stanoví se přírubové spojení tak, že přídatná vnější síla může být přenesena ve velikosti síly z vnitřního tlaku.

Síla ve šroubech od přetlaku:
$$F_p = \frac{p \cdot \pi \cdot D^2}{4} (N; Pa, m)$$

Ze sil a momentů stanovená přídatná síla F_z nesmí překročit hodnotu F_p

Obrázek 33 - Momenty a síly působící na hrdla turbíny

Součet všech sil a momentů působících na hrdlo turbíny, musí být menší než je síla od přetlaku ve šroubech, platí tedy:

$$F_z + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{d_t} < F_p \quad (N, N \cdot mm, mm; N)$$

5.10.2. Přírubové spojení pro svařované výstupní hrdlo

$$F_z < 0,6 \cdot F_{aa} \quad F_{aa} - \text{suma všech opěrných sil ve výstupu páry}$$

$$F_x \cdot F_y < 0,1 \cdot F_{aa}$$

M_x, M_y, M_z podle tabulky 5

Hodnoty v tabulce 4 a 5 jsou pro všechny hodnoty zatížení (zahřívání, provoz, chlazení).

Diplomová práce

FSI VUT Brno - Energetický ústav

57

5.10.3. Podmínky stability

Stabilita turbíny je ovlivněna následujícími faktory:

- hmotností statorových částí turbíny (turbínová skříň s příslušenstvím),
- kroučícím momentem z výkonu a počtem otáček,
- řazením podpěr (potrubí přídavné páry, potrubí odběrové páry atd.),
- vnější síly a momenty na těleso turbíny.

Faktory a) až c) jsou dány konstrukcí vlastní turbíny, jejich vlivy na stabilitu mohou být určeny. Vnější síly a momenty ze systému potrubních tras jsou ve směru a velikosti různé a ovlivňují stabilitu společně. Mohou se sčítat, nebo navzájem se rušit.

Při vyhodnocení stability jsou srovnávány výsledné síly z klopných momentů M_x a M_y kolem osy X, popřípadě kolem osy Y, na podpory uložení turbínové skříně na ložiskové stojany (uložení výstupního hrdla) a všechny síly působící na příruby ve směru Y, ve kterém se udává váha skříně s navazujícími detaily – podpory zatížení. Stabilita je zaručena, pokud základní zatížení z váhy skříně je maximálně do 80% odlehčeno.

$$\frac{M_x + M_d}{2 \cdot a} + \frac{M_y}{2 \cdot b} \pm \frac{\sum F_z}{4} \leq 0,8 \cdot F_{Gmin}$$

a - odstup (vzdálenost) patek ve směru Z

b - vzdálenost patek ve směru X

M_d - kroučící moment turbíny (0 až M_{dmax})

F_{Gmin} - nejmenší opěrná síla z hmotnosti turbíny

5.10.4. Omezení působících sil

$$F_x \leq 0,1 \cdot \sum F_G$$

$$F_z \leq 0,1 \cdot \sum F_G$$

$\sum F_G$ - součet jednotlivých opěrných zatížení pod patkami skříně z hmotnosti turbíny

tabulka 4 - Normované hodnoty pro kruhové příruby podle ČSN EN 13480 [2]

SÍLY (N)			MOMENTY (Nm)		
DN (mm)	F _x	F _y , F _z	PN	M _x	M _y , M _z
100	1350	2500	do 25 40 100 160 až 400	430 520 1200 1600	170 200 450 600
150	1850	3600	do 25 40 100 až 400	1550 1700 2600	540 640 1300
200	2350	4500	do 25 40 100 až 400	3200 3200 3300	1200 1400 1700
250	2850	5500	16 až 400	4000	2000
300	3250	6300	16 až 250	4600	2300
350	3800	7200	16 až 160	5200	2600
400	4100	8000	16 až 64	5800	2900
500	4900	9500	16 až 40	7000	3000
600	5600	11000	16 a 25	8200	4000
700	6500	12500	16 a 25	9400	4500
800	7200	14000	16 a 25	10500	5000
900	7800	15500	16 a 25	11500	5600
1000	8500	17000	16 a 25	12500	6000
1200	10000	20000	16 a 25	15000	7000
1300	13000	22000	16 a 25	18000	10000

tabulka 5 - Dovolené momenty pro svařované obdélníkové příruby výstupních hrdel [2]

Rozměr	M _x (Nm)	M _y , M _z (Nm)
1000 x 390	5200	2600
1600 x 480	7100	3500
2000 x 580	8200	4000
2500 x 700	10500	5000
3200 x 900	11500	5600
3980 x 1130	12500	6000
3980 x 1280	12500	6000
4800 x 1570	15000	7000
5300 x 1900	15000	7000

ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce je seznámení se s obecnými zásadami pro projektování energetických celků, přípravné projektové práce pro zpracování nabídky kondenzační nebo protitlakové parní turbíny určené pro teplárny nebo průmysl o malém až středním elektrickém výkonu řádově v rozpětí 1 MW_e až 50 MW_e. Tyto projektové podklady, budou sloužit jako podklad pro realizovaný projekt.

V první kapitole je zmíněno dispoziční řešení parních turbín, jejich výhody či nevýhody a v případě montáže nového turbosoustrojí i návrh řešení využití stávající strojovny včetně možnosti použití původního základu pro turbosoustrojí a případně i dalšího zařízení. Druhá kapitola se zabývá značením v energetice a to přímo systémem značení KKS, které se z praktického hlediska jeví jako nejefektivnější. Je zde podrobně popsán postup pro kódové značení v systému KKS jak pro budoucí technickou dokumentaci pro navrhované zařízení, tak i pro jeho výkresovou dokumentaci. Třetí kapitola popisuje zařízení v parním a kondenzačním okruhu a další kapitola je zaměřena na návrh olejového hospodářství pro celé turbosoustrojí. V předposlední kapitole jsou zmíněny další okruhy, které se řeší individuálně pro zvolenou koncepci a využití turbíny, kdy je například mechanická práce turbíny využita pro pohon kompresoru a podobně.

Poslední kapitola řeší kompletní (technický) postup projektových prací od poptávky parní turbíny (turbosoustrojí a případně celé strojovny) od zákazníka až po konečné předání projektových podkladů hlavnímu projektantovi pro vlastní realizaci zakázky. V první části této kapitoly byla navržena dispozice strojovny s novým turbosoustrojím, v další části je uveden postup vypracování tepelného schématu parní kondenzační turbíny a ve třetí části poslední kapitoly je vypracováno schéma mazacího oleje. Pro lepší čitelnost výkresové dokumentace jsou výkresy dispozice turbíny, tepelné schéma a schéma mazacího oleje, přiloženy v k diplomové práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] Topenářská příručka – 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. ČSTZ. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-81-9. s. 2500
- [2] ČSN EN 13480-3. Kovová průmyslová potrubí - Část 3: Konstrukce a výpočet. Praha: Český normalizační institut, 1996. 16 s.
- [3] ČSN EN 60045-1. Parní turbíny: Část 1: Specifikace turbíny. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] Zedníček O. Dispoziční řešení parních turbín firmy Ekol. Brno: Ekol s.r.o, 2009. 20 s. Kapitola 1, Dispoziční řešení parních turbín, s. 8 - 18.
- [5] Paták L. Porovnání označení materiálů dle ČSN, EN, ISO. Brno: Ekol s.r.o., 2002. 3 s. Podkapitola 5.3.1., Základní informace od kupujícího, s. 41.
- [6] Zedníček O. Základní požadavky pro nabídku turbíny. Brno: Ekol s.r.o., 2002. 3 s. Podkapitola 5.2. Základní informace od kupujícího, s. 39 – 40.
- [7] ARI Armaturen [online]. c2009 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.ari-armaturen.de/>>.
- [8] TZB [online]. c2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://voda.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1000>>.
- [9] Mico s.r.o. [online]. c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.mico.cz/cz/>>.
- [10] Impeller.net [online]. c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.schraubenspindelpumpen.de/pics/magazine/allweiler080131.jpg>>.
- [11] c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://image.ec21.com/image/tommy1818/oimg_GC02402863_CA02860019/Gear_Pump_Hydraulic_Pump_Pressure_Pump_P7600.jpg>.
- [12] JMA [online]. c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://ecatalogue.jmahod.cz/picture/products/description/11_003_a.JPG>.
- [13] JMA [online]. c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.polnacorp.eu/uploads/Products/product_30/rcp8.gif>.
- [14] c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/water-heater-with-hot-oil-heat-exchanger-400068.jpg>.
- [15] G-MAR [online]. c2010 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.g-mar.cz/>>.

- [16] Macroflex [online]. c2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.macroflex.cz/temp.aspx>>.
- [17] c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alfa-tech.cz/foto/fmist07.jpg>>, <<http://www.alfa-tech.cz/foto/fmist01.jpg>>.
- [18] Omegaeng.cz [online]. c2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc_lg.asp?ref=TMS_MILD_CORROS&Nav=heaf0>
- [19] Cummins generator technologies [online]. c2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.cumminsgeneratortechnologies.com/en/>>.
- [20] Argo Hytos [online]. c2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.argo.bitux.de/cz/index.php>>.
- [21] c2010 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.konceptcb.cz/pruzkum/17.jpg>>.
- [22] Bollfilter Protection Systems [online]. c2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.bollfilter.de/>>.
- [23] Hytos Ostrava – Vítkovice s.r.o. [online]. c2010 [cit. 2010-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.hytosost.cz/>>.
- [24] Techlab [online]. c2010 [cit. 2010-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.techlab.cz/>>.
- [25] Techlab [online]. c2010 [cit. 2010-05-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.techlab.cz/cs/SeznamTZ.pdf>>., poř. číslo: 156.
- [26] LDM [online]. c2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.ldm.cz/images/stories/download/Ventily2010.1.1.zip>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

IEC	- International Electrotechnical Commission
ISO	- International Organization for Standardization
EN	- Evropská norma
KKS	- Kraftwerk – KennzeichenSystem
ČSN	
EU	
IP	stupeň krytí (z anglického Ingress Protection)
www	Celosvětová síť - internet (z anglického World Wide Web)
s.r.o.	společnost ručením omezeným
ISBN	Identifikační číslo typu knihy (International Standard Book Numbering)
KSE	Konstrukční Směrnice Ekol
ČSTZ	České sdružení pro technická zařízení
R	– protitlaková turbína bez regulovaného odběru
PR	- protitlaková turbína s regulovaným odběrem – průmyslovým
TR	- protitlaková turbína s teplotenským odběrem
K	- kondenzační turbína bez regulovaného odběru
P	- kondenzační turbína s regulovaným odběrem – průmyslovým
T	- kondenzační turbína s regulovaným odběrem – teplotenským
PP	- kondenzační turbína se dvěma regulovanými odběry – průmyslovými - kondenzační turbína se dvěma regulovanými odběry – jedním
PT	průmyslovým a jedním teplotenským
KUP	kondenzátor ucpávkové páry
PPV	paroproudá vývěva
VT	vysokotlaký
NT	nízkotlaký
NTO	Nízkotlaký regenerační ohřívák
VTO	vysokotlaký regenerační ohřívák
MaR	Měření a regulace
HOČ	Hlavní olejové čerpadlo
RZV	Rychlozávěrný ventil
RV	Regulační ventil
HUA	Hlavní uzavírací armatura
NTS	Nízkotlaká sběrnice
VTs	Vysokotlaká sběrnice
By-pass	Obtok
CHÚV	Chemická úprava vody
NPSH	Nátoková výška čerpadla (Net Positive Suction Head)
DN	jmenovitá světlost potrubí
PN	jmenovitý tlak v potrubí

PŘÍLOHY

Nedílnou součástí této diplomové práce jsou přílohy:

E1-100101-0 DISPOZICE STROJOVNY.dwg

E1-100102-0 TEPELNÉ SCHÉMA.dwg

E1-100103-0 SCHÉMA OLEJE.dwg

POZNÁMKY